ESTEREOTOMÍA
DE LA
PIEDRA

POR

Antonio Rovira y Rabassa

ARQUITECTO

Académico de la de Bellas Artes de Barcelona y Catedrático
de las
asignaturas de Sombras, Perspectiva, Gnomónica y Estereotomía
en la Escuela Superior de Arquitectura
de la misma ciudad.



BARCELONA

LIBRERÍA Y ESTAMPERÍA ARTÍSTICA
Calle de Fernando VII, núm. 33
1897.

Barcelona: Imprenta de la Casa Provincial de Caridad.

Á LA MEMORIA

de su inolvidable y amantísimo padre

D. Antonio Rovira y Trias

DEDICA ESTA OBRA

EL AUTOR



PREFACIO

La benévola acogida con que se recibió nuestro tratado de Gnomónica, hános alentado hoy para dar á luz, convenientemente aumentadas y ampliadas una serie de lecciones, datos y notas que ha tiempo íbamos guardando en cartera, esperando llegar época propicia para publicarlas bajo el nombre de **Estereotomía de la piedra.** La carencia de libros de esta naturaleza es bien notoria en nuestra patria y en especial si nos fijamos en los del ramo de aplicaciones de Geometría Descriptiva, pues particularizando la cuestión al importante estudio del corte de piedras no contamos con ninguno que se ocupe de esta materia con la extensión que merece y es acreedora una ciencia que abraza gran extensión y múltiples ramificaciones al descender al terreno esencialmente práctico en donde resuelve serios é importantes problemas auxiliando y dirigiendo al aparejador y oficial cantero en sus operaciones.

Bien es verdad que alguna que otra vez aunque rara, ha venido á la publicación algún libro tratando de este asunto, más este, siempre de reducidísimas dimensiones venía encerrado en límites tan restringidos y elementales que si bien

podía auxiliar algún tanto á las entidades ó agrupaciones especiales, á que estaba dedicado no era apropósito para que con él pudiera nutrirse el estudioso con los frutos de extensas é importantes teorías que en su resolución informan la ciencia y arte de la estereotomía de la piedra, máxime en la actualidad, que algunas de ellas han experimentado algún adelanto tomando nuevos vuelos.

Por otra parte los textos extranjeros que tenemos necesidad de valernos si bien en su mayoría excelentes, dejan de tratar ciertas y determinadas cuestiones de sumo interés, pues si alguno de ellos es prolijo y lo bastante extenso en determinado punto, en cambio es por demás parco si no omiso en teorías expuestas perfectamente en otro, resultando así que el que quiera imponerse en esta rama descriptiva no le queda otro recurso que acudir á un número excesivo de autores proporcionándose un coste excesivo y laborioso trabajo, para que realizar pueda la debida cohesión y uniformidad en su camino de investigación y estudio.

De necesidad era pues la publicación de una obra de esta índole para zanjar toda esta clase de dificultades y orillar el camino, especialmente á los alumnos estudiosos y al efecto hemos aguardado hasta hoy, confiando que comprendiéndolo así entidades que dispusieran de pluma mejor que la nuestra se decidieran á abordar esta cuestión, proporcionándonos un texto que satisfacer debiera á las exigencias referidas, imponiéndose no escasos sacrificios de toda clase en aras y obsequio á su amor á la ciencia que á decir verdad mucho se necesita en este suelo y tiempos que corremos para dedicarse á publicaciones de obras semejantes; más como quiera que no se realizaran nuestras esperanzas, nosotros por fin nos hemos decidido por nuestra cuenta y riesgo á emprender semejante camino con la firme convicción y creencia que en ello se sabrá comprender que si no hubiéramos acertado como se merece y llegado felizmente al colmo del deseo que nos ha guiado, en cambio siempre se reflejará en el presente trabajo la intención y voluntad que ha sido mucha.

Para el debido estudio de esta obra la hemos dividido en dos partes. La primera que trata exclusivamente de toda clase de muros y bóvedas simples y es objeto de la presente publicación formando un tomo completamente separado é independiente si se quiere de la segunda parte que tratará de bóvedas compuestas y escaleras. Este segundo tomo está en preparación saliendo á la mejor brevedad posible.

Va precedida la primera parte de un resumen histórico constando en él las distintas faces porque ha pasado la estereotomía de la piedra, en las sucesivas variaciones que ha experimentado la arquitectura en cada uno de sus diversos estilos, creyendo que con este apéndice introducido al principio se preparaba mejor el ánimo y discernimiento del lector, sirviéndole como de ameno panorama que le hace entrever de momento los extensos horizontes que ha de cruzar, le hace llano el camino interesándole la curiosidad, al indicarle las distintas etapas entre las cuales se dá un paso más en el sendero de los adelantos.

No hay autores que sepamos que al tratar del corte de piedras se ocupen de la explotación de las canteras, será sin duda alguna por creer no sea de la incumbencia de la materia que tratan y quizá en su interno dan lugar á este especial estudio de detalle y lo creen en su verdadero sitio en una clase de construcción. Respetando sin embargo tal criterio, nosotros estamos en la idea forme parte de la enseñanza de la estereotomía ya por servir á maravilla como á introducción de su estudio ya también por la mucha analogía y dependencia que tienen los procedimientos del desgaje con las propiedades que han de reunir las piedras aisladas que luego combinadas en condiciones tales de forma y disposición por cierto nada extraños con el resultado de los distintos procedimientos que se emplean para el desaloje de las grandes masas de la cantera madre.

Abundando en estas apreciaciones se han expuesto en el capítulo primero los varios medios que pueden emplearse en la explotación, haciendo conocer el muy especial y notable

en su género por la rapidez de su procedimiento el empleado en Barcelona; extendiéndonos también en la nomenclatura y uso de los principales instrumentos del cantero.

Se ha introducido el importante estudio de las bóvedas cilíndricas oblicuas, pasando en revista todos los sistemas conocidos y así poder apreciar mejor en el estudio de sus detalles las ventajas é inconvenientes de unos con relación á los otros, tomando la cuestión desde el punto de origen, esto es, del problema conocido con el nombre de pasadizo oblicuo y cuerno de vaca, estudiando después los sistemas francés, alemán é inglés, el alemán modificado, concluyendo como objeto de curiosidad mejor que por su empleo en la práctica con el llamado cicloidal.

En cada teoría tanto de muros como de bóvedas á presidido especial cuidado en la elección de todos aquellos casos más interesantes que puedan dar mejor idea en su síntesis de la misma, no dejando de emplear algunas veces casos raros buscados apropósito para aumentar las dificultades; no para que sean aplicados á la práctica cuando esté á mano del operador escoger por si mismo los datos del problema; sino para que resolviéndolos con estas difíciles y quizas desventajosas circunstancias se adquiera un cierto tino y criterio práctico, para eludir en ciertas ocasiones tamañas contrariedades, ó cuando menos se sepa á que atenerse al llegar oportunidades de restauraciones sobre monumentos ó edificios que en sí las reunan y no ser dable en este caso el que desaparezcan por ser necesario entonces conocerlas tal como son y se presentan.

Aunque toda construcción de cantería para que venga á cumplir la misión á que está destinada ha de ser tal que no necesite material de enlace, colocándose siempre las piedras tal como salen de las manos del cantero habiéndose de ajustar con el simple contacto de unas con otras, sosteniéndose por la especial disposición de aparejo y exacta labra de sus partes no apelando ni á retoques ni rectificaciones una vez efectuada la colocación; resulta sin embargo, que en la práctica no

se atiende á semejante modo de obrar, ya por economía ó ya por otros motivos especiales que no hemos de entrar á discutir en este lugar, baste por ahora saber que es necesario recurrir en la generalidad de prácticas actuales á una serie de operaciones supletorias para que el trabajo quede terminado de modo que presente buen aspecto y cumpla con las debidas condiciones de solidez á pesar de haber prescindido de los requisitos anteriormente mentados.

He aquí porque nos ha sugerido la idea ser de suma utilidad incluir al fin de cada teoría general una serie de observaciones sobre el replanteo, colocación en obra, retoque y rectificación de los muros y bóvedas tanto en sus paramentos como superficies de junta completando así cual merece el problema de que se trata.

Creemos que con este libro se presta un servicio á la enseñanza á la par que á las clases profesionales ahorrando no poco trabajo al tener que acudir en voluminosas y costosas obras y sus teorías en ellas contenidas habiendo sido objeto de estudios particulares para hacer más fácil y sencilla su aplicación concretándolas estrictamente á la parte útil tal como nos ha sugerido la práctica de tantos años de enseñanza.

PRIMERA PARTE

MUROS Y BÓVEDAS SIMPLES



CAPÍTULO PRIMERO

OJEADA HISTÓRICA

1. El corte de piedras considerado en el sentido más general y amplio de sus manifestaciones, al venir á resolver toda clase de problemas que tiendan al fraccionamiento de grandes masas afectando toda clase de formas y cumpliendo á la vez en sus sistemas de corte las condiciones geométricas y estáticas; puede inferirse no es muy antiguo y hasta aseverar que es relativamente moderno. Así es en efecto pues aun que alguna que otra vez en la época ó período más antiguo se descubren muros con despiezo y techos abovedados, si bien los primeros no han sufrido modificación hasta nuestros días máxime después de haber pasado por las mejores épocas griega y romana en cambio las bóvedas son llevadas en su fraccionamiento de un modo tal que demuestra un estado visiblemente rudimentario encontrándose bien lejos de por sí de poder formar un sistema de aplicación recomendable ni siquiera tomarlo como á ejemplo de feliz práctica en lo futuro, no presentándose á ninguna mejora aunque fuera modificado parcialmente.

2. Partiendo de las construcciones que algunos autores colocan dentro de una civilización prehistórica, adoptándolas como á tipo del arte arquitectónico ó sean las llamadas Cél-

ticas, vemos que las constituyen enormes piedras y fragmentos de peñasco que carecen de *toda clase de labra*, los que recogidos en sus depósitos naturales ó canteras y colocados en el sitio escogido con ciertas condiciones forman determinados conjuntos, constituyendo siluetas especiales de cuyas construcciones los arqueólogos concuerdan en reconocer verdaderos monumentos debidos á remotas generaciones.

Tales son entre ellos el **Menhir**, piedra sin labrar y aislada sustentada perpendicularmente sobre el suelo.

Tuvieron distintos usos, entre ellos como límites de división; para perpetuar un hecho digno de mención y también como monumentos religiosos; cuyo último objeto continuó poniéndose en práctica y prosperando según se desprende que así los consideraban las generaciones posteriores cuando en fecha mucho más reciente esto es en el año 452 se dispuso en el concilio de Arlés lo siguiente: "Si en la jurisdicción de algún obispado encienden los infieles antorchas ó dan culto á los árboles, á las fuentes ó á las *piedras* y el obispo no se apresura á destruir estos signos de idolatría, sepa que es culpable de sacrilegio".

El nombre de menhir proviene de *Men* que significa piedra y de *hir* que equivale á larga esto es piedra alta ó larga.

3. Los **Dólmenes** (Dolmen en lengua céltica significa mesa de piedra, de *Men* piedra, y de *Taol*, mesa, por contracción *Tol* que unido á otra palabra se convierte en *Dol* por exigirlo así las reglas de eufonia de aquella lengua) están formados cada uno de ellos por una piedra muy grande colocada horizontalmente y apoyada sobre otras fijadas verticalmente sobre el suelo en número en general de tres á quince. La altura de estos monumentos fluctua de dos á tres metros.

Uno de los principales es el descrito por Higgins existente en Cornuailles cuya piedra horizontal alcanza una longitud de once metros por un ancho de seis. Se supone que el objeto de estos monumentos fué puramente religioso así se colige entre otras razones la de que más posteriormente los hebreos se servían de altares formados según la disposición de los dólmenes. Se desprende así del Deuteronomio, capítulo XXVII versículo 5 y 6 cuando dice "levantaréis sobre el monte Ebol al Señor nuestro Dios un altar de piedra á que no haya tocado el hierro, de piedras rústicas y sin pulir y ofreceréis sobre este altar holocaustos al Señor nuestro Dios.

El **Trilito**. Está compuesto de tres piedras dos de ellas colócadas derechas verticalmente formando pilares y la tercera colocada encima de las anteriores que la prestan debido apoyo.

4. **Entradas y pasos ó galerías cubiertas.** Constituyen Dólmenes de gran tamaño.

El ejemplo más notable de estas construcciones es el de Vagneux, llamado roca de las Hadas en Saumur (Loire). Forman su entrada dos grandes piedras que dejan entre sí el espacio para una puerta común, cada una es de 2'20 metros de altura al igual de las otras del recinto que sirven de apoyo á la cubierta. La anchura exterior es de 4'35 metros componiéndose cada uno de los lados de cuatro piedras que se extienden en una longitud total de 17'50 metros. El techo lo componen también cuatro piedras la mayor de las cuales es de 7 metros de longitud, 6'50 de ancho y 1 de espesor. (Figura 1.ª).

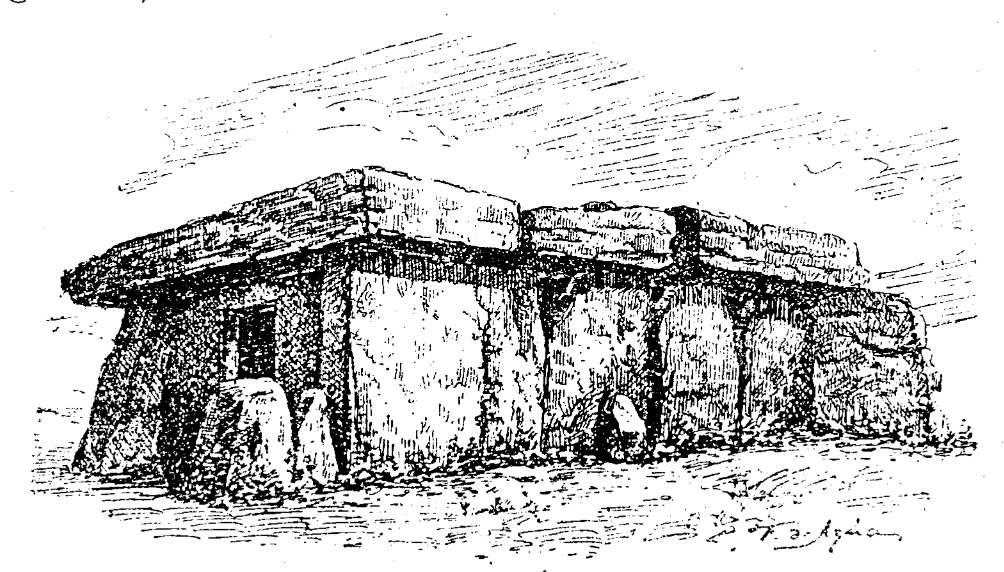


Fig. 1.ª—Roca de las Hadas. (Saumur).

De todos estos ejemplos se desprende sencillamente que el labrado era completamente desconocido, con ausencia de toda clase de cortes siendo las piedras informes y sin enlace; que se inicia la puerta en el estado más rudimentario así como aparece hasta cierto punto el embrión de las pétreas cubiertas planas, al echar mano de estos inmensos bloques-cobijas que cubren los pasadizos ó galerías de que última-

mente se ha hecho mención cuales no dejan de llamar la curiosidad si se tiene en cuenta los medios de que aquellas gentes habían de valerse para el transporte de tan grandes masas y elevación de semejantes monolitos hasta dejarlos descansar sobre las piedras que sirven de puntales.

5. **India.**—Poco nos puede indicar la arquitectura india bajo el concepto de investigación de datos de la Estereotomía, á menos de fijarnos en el simple desvaste y grandes trabajos de perforación de enormes masas que una vez desgajadas, corren como un velo ó telón que se levanta, surgiendo luego por encanto del seno de la roca esos monumentos monolíticos que pertenecer debieran á la fábula si aun hoy mismo no se vieran y tangiblemente no dieran testimonio de su existencia. El ánimo queda subyugado, la imaginación se ofusca al contemplar esos templos trogloditas nacidos en el corazón de aquellos montes basálticos y porfíricos que como el de Indra está subdividido en naves por medio de pilares que sostienen techos en general planos. El desvaste de las masas que fué necesario desalojar para venir al alcance de las siluetas de tantos cuerpos arquitectónicos para luego trabajar en ellos la rica y exuberante labor de sus adornos, da idea de los grandes escollos, dificultades sin cuento, á la par que una refinada habilidad y paciencia sin límites de un pueblo que invertiría un número de años bastantes para que en las maravillas que se proponían realizar trabajaran en ellas sin cesar unas generaciones en pos de otras.

No es menos digno de maravilla el trabajo monolítico y al descubierto que informa el monumento autoctono de Kailassa cuyo se le considera como á panteón de Siba; trabajado en una roca cuya masa en su mayor parte fué desalojada en una altura de 30 metros, 130 de longitud y 50 de ancho hasta ir á encontrar en sus entrañas el volumen y forma en donde había de dar la expresión que hoy alcanzan los distintos cuerpos que surgidos de este nuevo peñasco aparecen á la flor de tierra para servir de asombro á las generaciones sucesivas al contemplar obras tan colosales y tejidas de labor tanta.

6. Resta solamente hacer mención en las construcciones de la India aquellas que están formadas por materiales transportados cuales son las llamadas **Pagodas**, monumentos más

modernos de la India diseminados en gran número en su territorio. Tienen la forma piramidal, compuestos de varios cuerpos, superpuestos y en resalto y que sucesivamente van disminuyendo á medida que se elevan. Algunas de ellas tienen sus basamentos formados por hiladas de piedra aparejada. La época de la construcción de todos los monumentos indios es incierta pues existe gran controversia entre la mayor parte de los autores que han tratado este asunto.

7. **Egipto.**—Las construcciones de este pueblo son las más antiguas que se conocen en el curso de la historia.

El carácter de la Arquitectura primitiva, sólo lo podemos apreciar en los monumentos egipcios; se distinguía por su gran solidez, una grandeza gigantesca y una severidad y magneficencia que hicieron de estas propiedades un prototipo especial influyendo en él, la situación y naturaleza de su suelo con sus estrañas escavaciones y especiales montañas que rodean el país.

Los monumentos del Egipto cumplían fielmente su objeto, satisfacían las exigencias del sistema religioso, sus formas eran el resultado del uso de la piedra de cuyo material contaban en abundancia; sus techos con terraza habían de presentar el aspecto característico de las construcciones propias de un clima donde no hay lluvias; finalmente la escultura y la pintura eran aplicadas no como ornamentos arbitrarios y sí como emblema significativo y moral.

La construcción incesante de tales monumentos por este pueblo han llamado poderosamente la atención no solamente por sus resultados dignos de maravilla sino que también por los medios potentes á la vez que ingeniosos con que había de valerse para llegar al colmo de lo que se proponía realizar, y su examen detenido patentiza que la teoría originaria de su Arquitectura hubo de ser, al echar mano del material petreo las construcciones por las cuales las piedras obrasen por simple presión vertical y con esto queda sentado que estas obras bajo el punto de vista estereotómico, vienen reducidas á su más fácil y rudimentaria expresión y esto tanto más en cuanto que dentro de sus sistemas evitaron todo lo posible los fraccionamientos parciales recurriendo á enormes pedrejones que por su gran tamaño les obligaría al empleo de medios especiales para la explotación de sus ricas canteras de piedra calcárea granitica y arenisca que llegaron á proporcio-

narles piedras de tamaño gigantesco (*) así como por los acarreos y colocación en obra á gran altura de estas enormes y fabulosas masas.

No había pues en los monumentos de este pueblo gran ciencia estereotómica pero siempre resultará en la Arquitectura Egipcia el fruto de lo que ha producido el arte de más admirable considerándolo en sus grandes dimensiones, enormidad en sus partes parciales y solidez á toda prueba al desafiar la serie de siglos transcurridos tratando de edificios de la mayor antigüedad hasta nosotros llegados.

La Arquitectura Egipcia siendo racional en grado superior había por precisión de ejercer influencia notable en el progreso y en la historia del arte, como así sucedió; y en efecto fué la primera en que aparecieron los elementos principales que entraron á formar parte desde entonces en los distintos estilos que se sucedieron en la Arquitectura de todas las naciones civilizadas. Vemos las columnas sujetas á ciertas proporciones; enlazadas perfectamente por medio de los arquitrabes y cornisas de piedra; de su combinación nacen los casetones más ó menos grandes según el sistema de la construcción, admite la decoración más monumental que el hombre puede inventar; y si bien es verdad que no acertó y quizá no buscó con la belleza que place y encanta como sucede en la Arquitectura Griega en su continua progresión en cambio no paró como esta última por la decadencia.

Las descripciones que nos hacen Herodoto y Diodoro de Sicilia de los edificios del pueblo egipcio producen tal impresión en el ánimo no acostumbrado á tamaña grandiosidad y esfuerzo que quedando sobrecogido en presencia de tan portentosas maravillas, serían increibles y relegadas al dominio de la Fábula si por otra parte no hubiesen quedado hasta nuestros días tantas reliquias de estas construcciones como fieles y constantes testimonios de la veracidad de tan célebres historiadores.

8. Entre los diversos medios de construcción empleados en el Egipto puede considerarse como el más antiguo y más constante en su uso el aparejo de forma rectangular superponiendo las piedras en el sentido vertical con lo cual queda

(*) Según, Dertaix, Bulver y Manjarrés, llegaron á obtener piedras de 25 metros de longitud.

indicado que las piedras habían de afectar los contornos ó envolturas más sencillas, desvastadas ó labradas á escuadra y las juntas constituyendo simples planos horizontales ó verticales, esto es el sistema más fácil y elemental en el terreno de la Estereotomía, esto por una parte mientras que por otra se desprende que el empleo de la piedra en grandes masas hizo que no se practicasen los Egipcios en los despiezos y por lo tanto que renunciaran á descubrir secretos estereotómicos en sus obras y para convencernos bastará recordar ligeramente sus distintas construcciones; y con esto tenemos que los *Spheos* siendo monumentos ó templos trabajados en el interior de las rocas y flanco de las montañas todo el arte consiste en el desvaste ó extracción del material interior que se oponga á la vista de las paredes, pilares y techos respectivos trabajos simplemente esculturales que el cincel egipcio ha de producir á medida que se vaya descargando la piedra en el recinto que se haya de producir.

9. **Los templos y palacios.**—Esto es los grandes edificios del Egipto construidos con materiales transportados y á poca diferencia con análoga planta de distribución. Patios rodea-

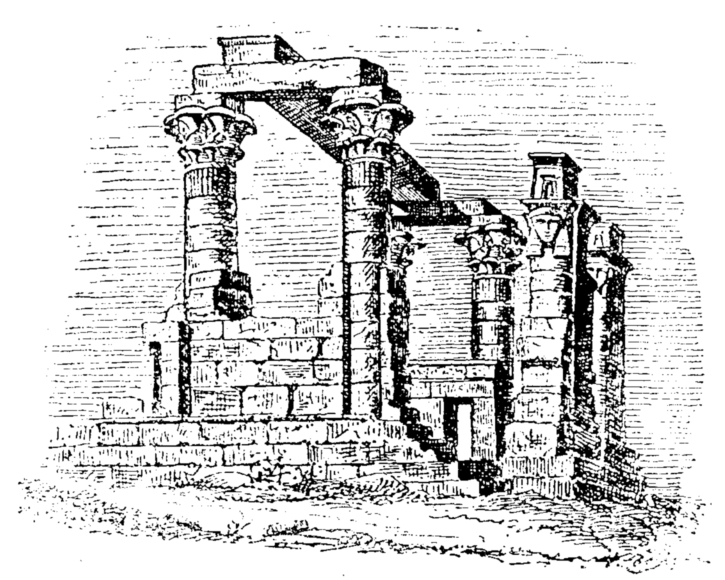


Fig. 2.ª—Ruinas del templo de Gartusse (Nubia).

dos de pórticos, espaciosas salas cubiertas de plafones ó techos planos sostenidos por un número más ó menos considerable de columnas, las cuales están espaceadas de modo que una sola piedra baste para cubrir un intercolumnio, así es que esta pieza llega á alcanzar dimensiones extraordinarias

cuando las exigencias de disposición han motivado un intercolumnio considerable. El plafón ó techo propiamente dicho lo componen igualmente una serie de piezas; bloques enormes, unos á continuación de otros sostenidos por un extremo sobre dos arquitrabes paralelos cuyas piezas arquitrabadas son las que se ha dicho se sustentan sobre las columnas (Figura 2.ª) así es que el problema de construcción de un techo de esta naturaleza por grandes que fueran sus dimensiones, siempre quedaba resuelto con el aumento del número de columnas y piezas que en ella se apoyaban así como en el crecimiento de las dimensiones de estas últimas cuales llegan á tener en alguuos edificios proporciones gigantescas. El fuste de las columnas ya se presenta en forma monolítica ó ya también con despiezo fraccionándola en serie de tambores.

10. Los muros en su construcción afectan la forma de talud hacia la parte exterior pero conservan la verticalidad hacia el interior, de modo á tener con esta disposición mas grueso en la base que en la parte alta y los despiezos en los mismos son en la mayor parte, así como en los pilones (Figu-

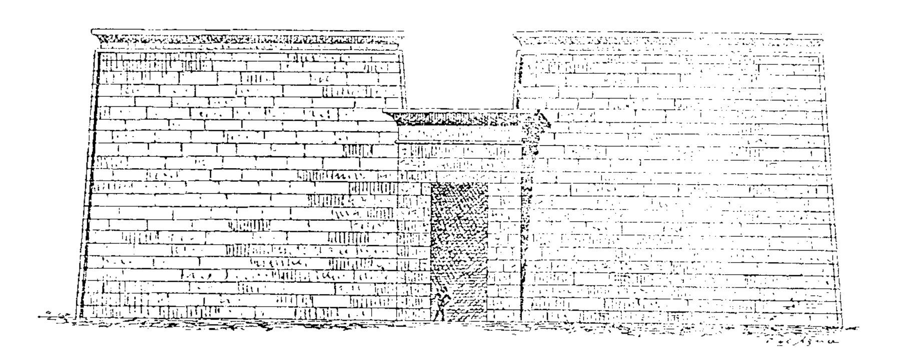


Fig. 3.ª—Muros y puerta Egipcia.

ra 3 ª) dispuestos por hiladas horizontales y juntas discontinuas verticales lo que produce siempre sillares cuadrangulares; en ellos puede admirarse lo perfecto de sus aristas, el ajuste en los asientos y contactos y la labor minuciosa de su labra, cual hace difícil poder apreciar las líneas de junta en donde tiene lugar el mencionado contacto

11. Pero las construcciones Egipcias que han llamado superiormente la atención de la posteridad y en todas sus generaciones son las llamadas Pirámides.

¿Quién no ha oído hablar de ellas? de estos colosos de la

construcción en piedra y que hoy pueden contemplarse aun á pesar del enorme lapso de 60 siglos en que fueron levantadas. De ellas las tres principales son las atribuidas á tres Reyes de la cuarta dinastía, Cheops, Cephren y Micerinus.

Es la de Cheops la mayor y la más renombrada por su importancia, se invirtieron 30 años en su edificación, trabajando sucesivamente cien mil hombres relevados cada tres meses, abordando en su labor las entrañas de la Roca que sirve de asiento y núcleo de la pirámide para establecer allí la tumba, la mansión eterna de Cheops y cubrirla luego con esta montaña artificial que mide 146 metros de altura (hoy 139 metros) sobre 230 de lado.

Allí en lo más recóndito de la masa monumental se labraría la fúnebre estancia, oculta y perdida en aquel laberinto de pasajes y corredores, verdadero antro producido por la mano de los mortales dando así cumplimiento á la idea perenne de Cheops de que su cadáver pudiera presentarse con toda su integridad ante la vida humana eterna haciendo con esto que el Arquitecto Egipcio aguzara su ingenio para que el muerto no pareciera, salvando así el cadáver de la mutilación é investigaciones más prolijas y en una palabra ponerlo á salvo de toda clase de profanación.

La preocupación del rey era la preocupación del Egipto entero.

La Teogonia del Egipto estaba cimentada con la idea de la eternidad.

El alma del egipcio era eterna y su cuerpo había de serlo también; por eso se embalsamaban.

En sus geroglíficos se ha leído que los reyes llamaban posadas á sus palacios y mansiones eternas á sus tumbas.

Cheops fué el rey más grande que todos los otros por eso su pirámide había de ser la mayor de todas las demás respondiendo así á tal grandiosidad.

Ante la pirámide de Cheops el hombre se humilla, el entendimiento se turba, la razón no funciona.

12. La envoltura exterior, y en sus cuatro caras la pirámide está formada por una serie de hiladas horizontales, en resalto unas de otras estableciendo una serie de escalonados como á peldaños los cuales van disminuyendo en su total anchura para venir á terminar en el vértice de la pirámide. Cuéntanse hoy 203 hiladas ó peldaños.

Si bien es verdad habían de ser en mayor número en atención á que en la actualidad está terminada toda la mole en una vasta plataforma en donde descansaban las otras.

El macizo interior está compuesto de piedra calcárea extraída de la misma roca donde se sentara y los peldaños ó hiladas exteriores los componen bloques de grandes dimensiones en forma de sillares procedentes de la orilla opuesta del Nilo. Estos sillares están aparejados y labrados con prolija precisión y cada hilada está empotrada á la precedente en una entrega de 5 centímetros de altura, de modo que ofrecen un enlace y solidez perfecta en sus respectivas uniones, admirándose aun hoy día la rectitud de las aristas y juntas; la altura de cada peldaño es de 0'685 metros y su huella media 0'544 metros. Las cuatro caras de la pirámide eran antiguamente verdaderas superficies planas, en atención á que los resaltos formados por los peldaños iban recubiertos por prismas triangulares formando así superficies continuas.

13. La entrada, corredores y cámaras de esta gran pirámide nos dan ejemplos muy curiosos que indican los medios de que se valian para evitar los arcos y bóvedas relativamente casi desconocidas en aquel entonces. Así á 15 metros de altura (Figura 4.ª) sobre la base y hacia la parte norte existe la abertura de entrada, cuya está terminada superiormente por dos grandes piedras inclinadas en sentido opuesto contrarrestándose mutuamente y encima de éstas, otras dos superpuestas á las primeras dispuestas del mismo modo, y así obtener una masa de coronación más resistente para sustentar la construcción superior.



Fig. 4.ª
Entrada á la pirámide de Cheops.

La cámara de la reina cuya longitud es de 6 metros y la latitud de 5'20 metros, también está cobijada del propio modo; esto es, sendos bloques de piedra inclinados y contrarrestados entre sí.

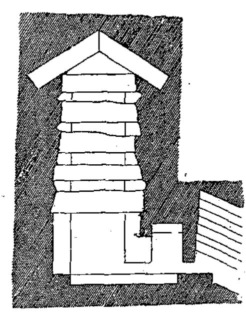


Fig. 5.ª—Cámara del Rey.

Un techo plano es el que cobija la cámara del rey, techo que está formado de nueve grandes fajas de piedra A de granito descansando cada una por sus extremidades en los opuestos muros del recinto (Figura 5.ª) Esta sala es de 10'30 metros de longitud por 5'15 de latitud y á fin de prevenir toda rotura á dichas piedras que tienen un ancho y dimensiones tan considerables, se las aligera del peso superior hechando mano de cinco plafones ó techos planos sucesivos separados por huecos intermedios y colocando el último en disposición inclinada, contrarrestándose una á una las respectivas piedras conforme se ha dicho en la puerta de entrada, así como también en la cámara de la reina.

El corredor que conduce á la cámara del Rey, es el más importante en sus dimensiones pues tiene 45 metros de longitud, 2'10 metros de ancho y 8 metros de altura; este pasaje es el primer ejemplo que se nos ofrece del problema de las bajadas, si bien es verdad que la superficie de intradós es un plano inclinado.

Las paredes están formadas con hiladas de granito (Fig. 6.ª) en resalto unas de otras, de modo á reducir su ancho en la parte superior para que las piedras del techo no tengan necesidad de tanta anchura, y así resistir con más ventaja la presión superior, de manera que las dimensiones en el ancho de dichas piezas vengan á ser las mismas á los empleados en los otros pasajes ó galerías de más reducida luz.

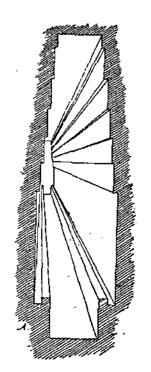


Fig. 6.ª
Corredor en Bajada en la Gran Pirámide.

El macizo de la Pirámide es de 2.600,000 metros cúbicos, duplica el area de S. Pedro de Roma y es más alta que la

aguja de Estrasburgo. Es la segunda de las maravillas del mundo admitidas como á tales.

14. Diversas han sido las opiniones sobre el objeto principal de las construcciones de las Pirámides Egipcias, en especial la de Cheops. Mientras que algunos autores persisten en creer que fueron destinadas á templos y prácticas religiosas, otros afirman en su mayor parte que estas construcciones estaban exclusivamente levantadas para dar cabida en su seno á las tumbas y por lo tanto las consideran como monumentos fúnebres. Proclus quiere que sean Gnomones y además supone que eran erigidas con el objeto de servir de observatorio astronómico. Finalmente, Tralin d' Persigni vé en las pirámides un verdadero dique para detener la impetuosa avalancha de las arenas del desierto así como para oponerse á las inundaciones del Nilo. Sea como fuere las Pirámides son monumentos de grandeza Egipcia y si nos atenemos á la idea primordial teogónica de los Egipcios hemos de convenir que semejantes Pirámides eran las tumbas de los reyes y grandes magnates.

Si Cheops aún pudiera contemplar su obra, por cierto que quedara satisfecho. Quería una mansión eterna y su Pirámide responde á su creencia y voluntad. Sesenta siglos han transcurrido y en este tiempo la metrópoli del Egipto la fuerte y potente Menfis próxima al pie de las Pirámides á desaparecido por completo. Tebas la ciudad que Homero denominaba de las cien puertas y que conceptuaba indestructible, y que á su tiempo fué del mismo modo cabeza principal del Egipto ha desaparecido también. Karnac, Lucsor y tantos otros palacios y monumentos no han podido sufrir la injuria del tiempo y de los hombres y allí aun se descubren, sí, pero no en su integridad, descompuestos en ruinas dispersadas por doquier; la misma Esfinge colocada al pie de la gran pirámide como si su misión fuera el centinela y guardián del famoso monumento de Cheops tampoco ha podido salvarse cuando menos de las salvajes mutilaciones de que ha sido objeto Solo la colosal Pirámide ha permanecido resistiendo el envate del tiempo destructor y malquerencia de los mortales; todo ha sido impotente ante su fortaleza, grandiosidad y magnífica estructura ¿Quiérese mayor patente de eternidad? Los Manes de Cheops pueden cantar victoria.

15. La célebre Esfinge puede citarse como á maravilloso y pacientísimo ejemplo de desbaste exterior ó á cielo abierto.

Esta colosal figura cuya cabeza y pecho son de mujer y el cuerpo de León constituye una sola masa monolítica tallada en la misma roca habiendo sido necesario desvastar toda la masa del promontorio rocoso hasta venir á buscar en su seno la silueta de dicha figura, sus dimensiones pueden darnos idea de la cantidad de piedra que fué forzoso descargar para dejar la figura completamente aislada. Desde el plan terreno hasta la cabeza se cuentan 17 metros y tiene una longitud de 39. El perímetro de la cabeza en la línea de la frente tiene 27 metros.

Entre los brazos delanteros descúbrese una puerta que comunica en el interior del coloso en donde se han establecido galerías y pasos de comunicación con la gran Pirámide y la de Chefren.

16. La disposición de las puertas Egipcias se presenta de varios modos: 1.° las jambas son verticales, coronadas por la piedra que forma dintel y entonces el hueco es rectangular. 2.° las jambas vienen ligeramente inclinadas al horizonte sustentando la pieza del dintel que cierra el hueco que en este caso afecta la forma de trapecio.

En absoluto no puede negarse á los Egipcios el conocimiento de construcción de bóvedas, pues aun que muy embrionarias las usaron á su modo según los casos especiales que de la naturaleza de las circunstancias se desprendía, si bien es verdad que atendían solo á la forma y no en el detalle de construcción.

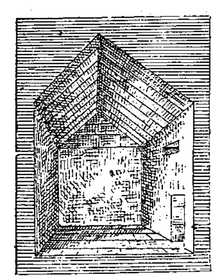


Fig. 7.ª
Cámara subterránea de la Gran Pirámide de Cheops.

La bóveda si así puede llamarse que se inicia más sencilla es la que cobija la cámara subterránea de la gran pirámide de Cheops (Fig. 7.ª) y se compone de una serie de lajas de piedra, inclinadas contrarrestándose una á una por sus extremos superiores apoyándose respectivamente por los otros extremos á los muros del recinto. Colocadas dos á dos unas en pos de otras insiguiendo esta disposición vienen á cubrir todo el recinto.

En uno de los hipogeos establecidos en el sitio llamado Beni-Hassan establecidos por los primeros Osortanes Faraones de la 17.ª dinastía (Fig. 8.ª) existe un especial techo abovedado. La cámara interior de este hipogeo es de forma cuadrada aproximada, sosteniendo su techo cuatro columnas cuales dividen en tres naves el total de la sala, el techo de cada una de estas naves afecta la forma arqueada; resultando así tres bóvedas cilíndricas en cañon seguido tallado su intrados continuo en la misma roca, lo propio que todo el monumento.

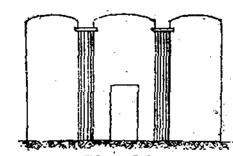


Fig. 8.ª
Techo abovedado en un hipogeo de Beni-Hassan.

Próximo á las tumbas Tebanas encuéntranse restos de una bóveda de piedra con despiezo con juntas horizontales y puede muy bien considerarse (Fig. 9.ª) como el más antiguo

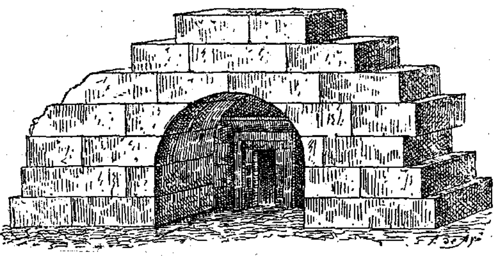


Fig. 9.ª—Bóveda, proxima á las tumbas Tebanas.

ejemplo verdadero de la bóveda y el arco (sin dovelage). Las hiladas de los sillares van saliendo sucesivamente de los inferiores que los sostienen dibujando en su conjunto un arco de medio punto.

Otra bóveda aparece de cañón seguido, con la especialidad de que la sección recta es apuntada esto es de la forma que más adelante había de llamarse ojival; aquí esta bóveda está tratada como á tal, esto es despiezo dovelado con juntas concurrentes y las dovelas colocadas sin material de enlace. Sin construcción forma parte del pórtico de una pirámide del monte Barkal.

En el mismo sitio y en otra pirámide se descubre otra bó-

veda semicircular compuesta de cinco dovelas, entre ellas y la clave. Se calcula que estas dos bóvedas se estiende su antigüedad al siglo VIII de la era vulgar.

Finalmente aun que se trate de obra de ladrillo, y por lo tanto no sea de nuestra incumbencia, no deja de ser interesante tan solo sea para la historia del arco el fijarnos por un momento en el ejemplo que nos ofrece la (Fig. 10.ª) que

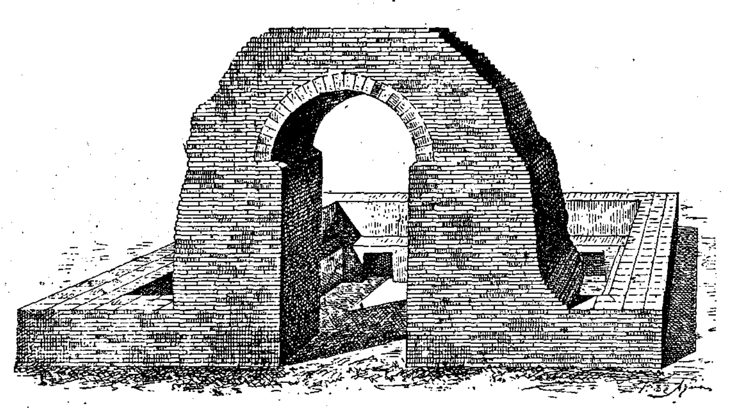


Fig. 10.—Arco de un recinto Tebano

representa una puerta ó pasaje de ingreso á un recinto Tebano, construido de la manera más antigua esto es con ladrillos crudos lo cual nos demuestra la antigüedad del arco valiéndonos del sistema convergente hacia el centro de la curva. De este caso y de otros análogos que podríamos citar puede inferirse que el sistema de construcción de los arcos de luz considerable con el auxilio de obra de ladrillo se empleó desde los tiempos más remotos y en dichos ejemplos puede observarse que lo reducido de las dimensiones del ladrillo especialmente en su grueso dificultaba ir formando el arco conforme se efectuaba cuando se empleaba el material de cantería.

Resumiendo y en virtud de las consideracianes anteriores sobre la construcción de los arcos que empleaban los Egipcios, puede decirse que desde los tiempos más remotos correspondientes á la primera dinastía, se cubrían los huecos ó vanos con grandes piedras tal como viene comprobado por

todas las investigaciones practicadas en la construcción de las grandes Pirámides de Menfis que son obra de la IV dinastía. Ademas de época muy antigua se observa se construyeron techos á curbatura bastante rebajada como así se vé en la tumba de Beni-Hassan y en otras diversas de Tebas que se consideran como obra de los faraones de la tan célebre XVIII dinastía.

De poco tiempo después se calcula ser obra aquella; que sirve á demostrar el modo de construir los arcos con piedras dispuestas en hiladas horizontales adquiriendo cada una de estas piezas la forma que le corresponda para la silueta, del arco tanto sea de medio punto como apuntado como nos lo demuestran los ejemplos citados en la misma Tebas.

El sistema de construir los arcos con materiales acuñados y dispuestos en la dirección del centro de la curva debe tener la prioridad en la disposición del aparejo empleando obra de ladrillo y esto de tiempo antiquísimo viniendo á ser muy comun en la época de los Faraones de la dinastía XVIII, como se atestigua en diversas ruinas de las tumbas Tebanas atribuidas á dicha época, y luego estendiendo esta práctica cuando se empleaba en la construcción la piedra cuales con mayor autenticidad puede dárseles la época de los Faraones de la dinastía XXVI ó sea el siglo VII antes de J. C. como viene comprobado particularmente en los restos que subsisten del monumento sepulcral del segundo Psmmético.

17. **Grecia.** Alcanzar el tipo de la belleza á la vez que el acierto en lo racional de la construcción fué el ideal de la arquitectura griega.

Las formas empleadas en sus albores fueron el resultado del uso contínuo de la madera siendo de tal entidad las que se produjeron que perseveraron al llegar la época de la sustitución del material leñoso por el pétreo.

El techo inclinado al horizonte fué impuesto por las condiciones climatológicas.

Los elementos con que contaban los griegos no alcanzando á los de sus predecesores (los egipcios) viéronse en la necesidad de estudiar el medio de subsanarlos no precisamente buscando otros nuevos; sino adoptando aquellos mismos haciendo su aplicación modificándolos según las distintas condiciones que las circunstancias les deparaban, razonándolo con aquel exquisito tacto y recto criterio que les era

innato, y que siempre fué desarrollado en sus construcciones.

18. Por lo demás la arquitectura de todas las naciones y de todas las épocas ha sido siempre por naturaleza una contínua deducción imitativa de la que correspondía á la época precedente, cuyos rasgos característicos no han llegado nunca á desparecer á pesar de la notable diferencia que los monumentos antiguos pudieran presentar en su paralelo.

Conviene insistir en esta influencia de la arquitectura egipcia sobre la griega; pues es un hecho primitivo que viene claramente demostrado al fijarse en varios detalles análogos en ambas como son por ejemplo: primero la disposición de los templos griegos conocida por *in-antis, y peripteros* cuales existen también en el Egipto. 2.° de la costumbre que tenían los egipcios de cerrar los intercolumnios exteriores por medio de un muro hasta cierta altura, la cual persistió en algún templo griego y hasta también llegó á alcanzar en algún ejemplo de la época romana, 3.° en la forma de algunos capiteles egipcios, que tanta semejanza tienen con el corintio griego y finalmente en la adopción del sistema de decoración monumental aplicado á las pinturas murales tomando asuntos históricos y el uso de los colores á todas las partes de la arquitectura.

Pero si las formas arquitectónicas de los edificios griegos en la época más antigua tienen algunos rasgos comunes y semejantes con los de Egipto, estas analogías van desapareciendo á medida que el genio helénico se desprende de la tutela de la imitación creando él mismo nuevas formas en todas las manifestaciones del arte emprende nuevos senderos y desarrolla con notable emulación el génio de sus artistas.

En este período floreciente fué cuando salió un Fidias, un Ictinus, un Calícrates, cuales auxiliados y recibiendo gran aliento bajo los auspicios del eximio Pericles enriquecen con sus magistrales obras la tan siempre famosa acrópolis de Atenas.

Este sentimiento que había animado á los grandes artistas tuvo luego gran resonancia propagándose el secreto de lo bello y clásico en el Peloponeso, en el Asia menor; distinguiéndose la nueva arquitectura por su extrema sencillez, una grandeza majestuosa buscando lo bello en las formas y esbeltas proporciones.

Con el objeto de que todas las producciones arquitectónicas pudieran aprovecharse de estos tipos de perfección que al principio solo eran del dominio de los templos, se extendieron luego á los demás edificios como los teatros, odeones, gimnasios y palestras y tantos otros monumentos que sobresalieron al aplicarles tan relevantes principios.

Los órdenes jónico y corintio vienen en pos del austero dórico que era el único que antiguamente usaba la Grecia, debiéndose la adopción de estos nuevos órdenes el difundir mayor riqueza y elegancia, cuales fueron con el tiempo aumentando hasta la exageración, hasta el punto de llegar el caso del empleo de la ornamentación tan solo por el afán de llenar espacio sin motivo justificado; lo cual hizo se perdiera de vista el objeto principal arquitectónico mientras que el gusto de una magnificencia parásita fué alterando y destruyendo lentamente el carácter de la forma racional que había sido al principio la verdadera belleza de este arte conduciéndole á la decadencia, acaeciendo esta revolución en las inmediaciones de la época de la muerte de Alejandro proximamente en el año 323 a. de J. C.

Las épocas pues que caracterizan los rasgos más principales de la arquitectura griega pueden concretarse en: prehistórica, ciclopes, pelasgos, Epoca heróica, Epoca clásica (del 7.° al 4.° siglo a. de J. C.), Epoca de la decadencia.

19. Es opinión arraigada que los pelasgos partieron del Asia central en época indefinida (aunque anterior á los celtas). Al parecer en su camino atravesaron el Asia menor en donde dejaron algunas huellas en Capadocia y según la opinión de antiguos geógrafos poblaron la Jonia, la Eolia, la Caria, la Tracia, el Epiro, la Macedonia y toda la Tesalia, ocupando la totalidad de la Grecia. Luego pasaron á la Etruria, concluyendo la avalancha de su emigración en las costas de Francia y España.

La noticia más remota de los Pelasgos en Grecia se debe á Homero cuando en su famosa Illiada va enumerando en su especial catálogo las distintas fuerzas que formar debían el total contingente del ejército que pelear debía bajo las órdenes del gran Aquiles.

Los que en Argos pelásgico habitaban
Alope y Alos en Traquinia y Fintia,
Y en Hélade el país de las hermosas

(Marmidones y Aqueos se llamaban;
y Helenos) conducidos por Aquiles
Venido habían en cincuenta naves
. . . .
. . . .

También se refiere al Epiro como el principal asiento de los Pelasgos poniendo en boca de Aquiles la invocación á Júpiter con el epíteto de pelásgico.

Júpiter soberano, Dodoneo,
Pelásgico, que habitas el Olimpo
y eres el númen tutelar potente
del país destemplado de Dodona
. . . .
. . . .

Las construcciones que nos legó el potente y gigantesco esfuerzo de los pelasgos pueden quedar reducidas á dos grandes agrupaciones cuales son los muros ó murallas que cercaban su acrópolis y luego sus recintos sagrados; distingüiéndose dichas construcciones en el modo de emplear los grandes monolitos en formas más ó menos irregulares y su disposición vária en la obra. En unas, las piedras son enormes de desigual dimensión colocándolas en su definitivo lugar tal cual salían de su yacimiento. Dispuestas unas en pos de otras ya lateralmente ó superpuestas dejan entre sí una serie de intersticios (pues no hay labrado) cuales se suplen por otras piedras menores, proporcionados sus volúmenes á los huecos que hay que llenar.

De esto se infiere que no se colocaría ninguna piedra hasta tanto que las precedentes estuvieran completamente aseguradas después de algunas pruebas y tanteos en el momento de introducir las piedras más pequeñas suplementarias.

20. Nos presenta un ejemplo de esta índole las célebres murallas de Tirinto (Fig. 11) que Eurípides atribuía á trabajos de Cíclopes y Gigantes (en general las colosales murallas de las Acrópolis griegas eran atribuídas por la posteridad á los cíclopes como pareciendo imposible que tales trabajos pudieran salir de manos de los hombres).

Pausanias describía hace unos dos mil años próximamente las murallas de Tirinto diciendo entre otras cosas lo siguiente: *Los muros están formados de piedras sin labrar, to-*

das de una dimensión tal que dos bueyes unidos á un yugo no moverían la más pequeña. (Algún tanto exagerada esta apreciación, sin embargo de tener la mayor de ellas una longitud que fluctua de 2'30 metros á 3'25 metros).

Las murallas de Tirinto ofrecen dentro de su género especial la particularidad de no ser en absoluto macizas pues existen en su interior pasajes ó galerías. Según la descripción de Dodwell la muralla en general tiene 8'35 metros de ancho y consiste en tres series paralelas de piedras de 1'10 metros ancho que forman los lados de dos galerías. Cada

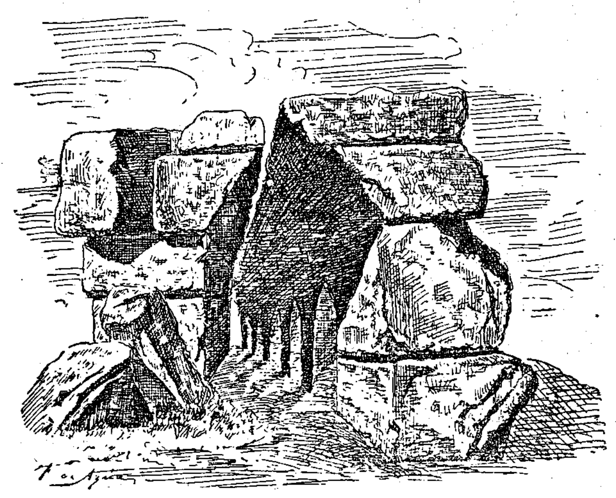


Fig. 11.—Muros de Tirinto.

uno de estos lados está formado por dos hiladas de piedra sobre las cuales insisten otras dos hiladas inclinadas apróximadamente á 45° sobre el horizonte al objeto de formar cubierta y el total coronado por otra piedra en forma de cuña haciendo el oficio de clave.

El techo de la Galería de Tirinto es el ejemplo más antiguo que existe en Grecia de la forma apuntada. Las masas principales de esta gran muralla datan del siglo XVIII antes de nuestra era, aunque existen en su construcción otras secciones de aparejo más regular que datan del siglo XV antes de nuestra era.

Ya Homero que florecía mil años antes que Pausanias al hablar en su Hiliada de Tirinto le dá el epíteto de gran murallón.

21. A esta clase pertenecen las antiguas murallas de Tarragona. "Allí sin duda atraídos por la fertilidad del terreno, lo bonancible del clima, el aspecto pintoresco y sonriente de toda aquella comarca desembarcarían aquellos continuos emigrantes y una vez posesionados determinarían finalmente establecerse echando las raíces de una nueva colonia cuyos límites fueron señalándo insiguiendo los usos tradicionales de

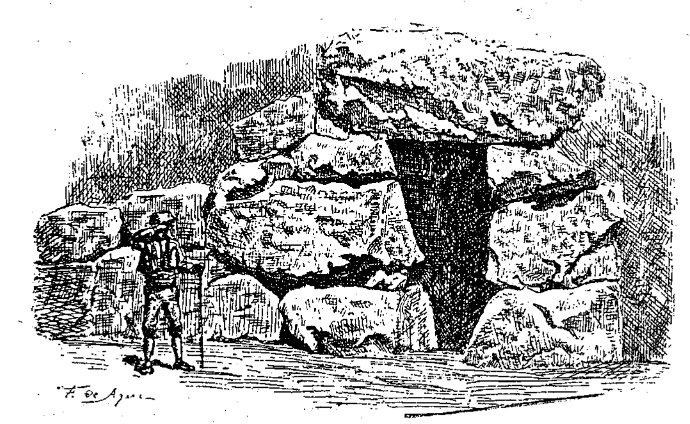


Fig. 12.—Murallas de Tarragona.

su arte en expresiones colosales y alineando y amontonando con cierto arte (como dice nuestro malogrado Piferrer) gruesos y gigantescos pedruzcos sin cal ni otra argamasa, dieron la primera idea de arquitectura civil y militar á aquellos sencillos españoles que tal vez reducidos por las artes y maneras de los navegantes cooperaron con sus propias manos á levantar el edificio de su servidumbre, del mismo modo que tras dilatados siglos otros españoles debían imitar á su vez este ejemplo.

Hieren en verdad (Fig. 12) la imaginación aquellas enormes masas cenicientas, que tantos siglos han visto pasar, y el ánimo quisiera descifrar aquellos mudos caracteres con que un pueblo perdido en la noche de los tiempos trazó una breve expresión de su genio, carácter y sus fuerzas."

22. Constituye el segundo modo de construcción de esta clase de muros en que si bien las piedras son también de gran tamaño afectan sin embargo cada una de ellas formas poligonales é irregulares, viniendo á ser cortadas de un modo especial y estudiado al objeto de que puedan estar en contacto, no entrando tampoco en su enlace ninguna clase de mez-

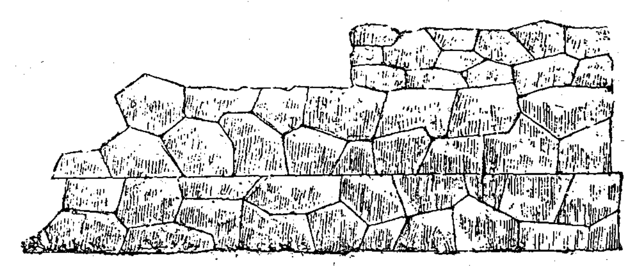


Fig. 13.—Muros de Mantinea.

cla pero sí algunos trozos de piedra de menor tamaño para suplir de una manera conveniente los estrechos intersticios de las juntas, pues téngase entendido que éstas vienen á ser simplemente cortadas pero no labradas. Puede citarse como á ejemplo de esta clase (Fig. 13) los muros de Mantinea ciudad de la Arcadia. Célebre esta ciudad por tres batallas dadas al pie de sus muros, la primera en el año 418 antes de J. C. en que los Lacedemonios derrotaron al ejército de

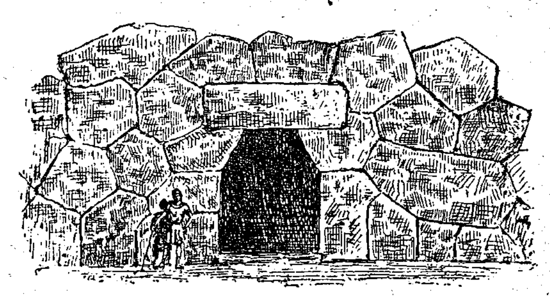


Fig. 14.—Muros de Circeja.

Argos y de Atenas; la segunda en 363 antes de J. C. en la que Epaminondas venció á los Espartanos, muriendo en la pelea; la tercera en 296 antes de J. C. en que Demetrio Poliorcetes venció á Arquidamo IV rey de los Lacedemonios.

Hoy no más quedan que ruinas que se ven en la Morea al norte y á dos leguas de Tripolitza.

23. De esta misma clase ó género de construcción son los muros de Circeja (Fig. 14). En este ejemplo aparece una puerta coronada por un dintel cual descansa sobre dos piedras cortadas en bisel en sus lados internos de la luz del vano al objeto de aumentar el apoyo de la pieza superior y hacer que así tenga más resistencia.

24. Otro sistema lo constituía la combinación de piedras poligonales con otras de forma rectangular como lo atestiguan los muros de Phigalia (Fig. 15). Estos muros están conservados casi en toda su extensión teniendo un espesor en su mayor parte de 2'60 metros, están flanqueados por torres circulares. No deja de llamar la atención la manera como está terminada por la parte superior una de las puertas del recinto como la situada en la parte oriental del mismo. Dos piezas rectangulares colocadas á cada lado de dicha puerta y en resalto entre sí van aproximándose cada vez más hasta dar lugar á la colocación de una quinta piedra también de forma rectangular que descansa sobre las anteriores cerrando la abertura.

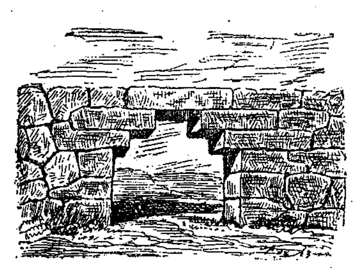


Fig. 15.—Muros de Phigalia.

25. Los muros del hipódromo de Likayon (Fig. 16) tienen combinadas las piedras de un modo análogo.

26. También se ha descubierto que hay construcciones ó restos de las mismas que datan de los tiempos heróicos y tienen la particularidad que constando de piedras de forma aproximada de paralelipípedo y dispuestas por hiladas horizontales tienen las juntas disconti-

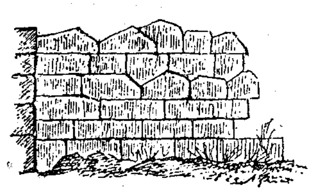


Fig. 16.—Muros de Likayon.

nuas que no son verticales y sí inclinadas al horizonte en cualquier dirección y como ejemplo se cita (Fig. 17) los muros de Micenas.

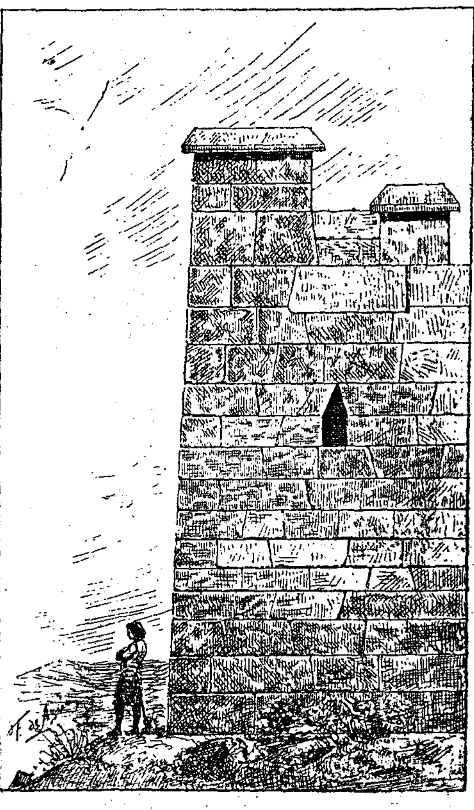


Fig. 17.—Muros de Micenas.

Era Micenas una de las más antiguas ciudades de la Grecia y célebre por la residencia de Agamenón, situada sobre una escabrosa eminencia á la par que comprendida entre dos cordilleras que contornean la llanura Argiva, motivo para el cual al describirla Homero en su Odisea dice que está situada en un lugar oculto del país Argólico y de esta circunstancia quieren deducir algunos la derivación del nombre de la ciudad.

El recinto de la Acrópolis de Micenas tiene la particularidad de que en la construcción de sus muros aparezcan tres distintas clases de aparejo lo que hace suponer obedezcan á tres épocas sucesivas. En unos las piedras son poligonales pero escabrosas en sus superficies en otros también conservan la misma forma pero trabajadas con más cuidado así en los paramentos como en los contactos y en otros la forma es

rectangular aproximada y juntas discontinuas que ora son verticales ó ya ladeadas al horizonte conforme más arriba se ha expresado. En la mayor parte de los muros de estas dos segundas disposiciones manifestadas, obsérvase que cada piedra está cortada con arreglo al sitio ó hueco que ha de ocupar y enlazada con las que la rodean de modo á sostenerse recíprocamente. De estos muros la construcción más antigua se calcula ser del año 1700 antes de J. C. y la más reciente resulta que data del año 1390 antes de J. C.

27. Entrase en la Acrópolis por la célebre puerta llamada de los leones. Aquí los bloques son enormes, horizontales y de forma rectangular. La abertura tiene 5'30 metros de alto por 3 metros de ancho; las jambas de una sola pieza (Figura 18) y ligeramente inclinadas hácia el eje. Cierra la parte superior una gran piedra formando el dintel cuyas dimensiones son respectivamente de 4'80 metros, 2 metros y 1'20 metros. Osténtase sobre el dintel un especial bajo relieve representando dos leones erguidos sobre sus patas traseras y apoyando las delanteras sobre una columna colocada intermedia; sus cabezas hoy rotas alcanzaban el capitel de la columna. Mide este bajo relieve que es de forma triangular una altura de 2'80 metros, un ancho de 3 metros en la base y el grueso de 1'10 metros para el espesor. La puerta de los leones era la principal de la Acrópolis pues además de ella había otras dos secundarias.

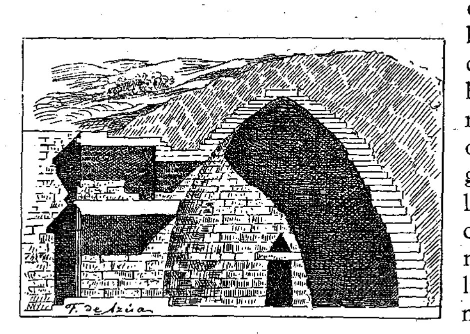


Fig. 18.
Puerta de los Leones en Micenas.

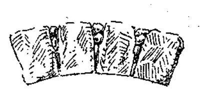
28. Monumento digno de mencionarse en Micenas es el que Pausanias nos indica bajo el nombre de tumba de Atreo y de todos los que Agamenón condujo consigo después de la guerra de Troya y que Egisto hizo sucumbir en un festin.

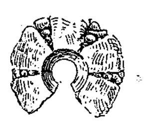
La tradición designa á este edificio subterráneo como el tesoro de Atreo.

Es de planta circular y notable por ser una de las primeras construcciones que aparezca cubierta con una bóveda de forma y apariencia parabólica. Está aparejada por hiladas de asientos planos y horizontales colocadas las piedras que las constituyen, en resalto unas sobre otras (Fig. 19) siguiendo en sus escalonados ó voladás sucesivas la forma correspondiente de la línea curva meridiana, lo cual para conseguirlo cortaron retocando las testas interiores de las piedras hasta hacer que desaparecieran dichos escalonados interiores y así afectara en su conjunto la superficie contínua curva y regular que formar debía el intrados. Este sistema produjo por cierto una bóveda bastante esbelta y atrevida de 14 metros de diámetro, 15 metros de altura y en su totalidad puede asemejarse á la forma de una colmena.


Fig. 19.—Tesoro de Atreo.

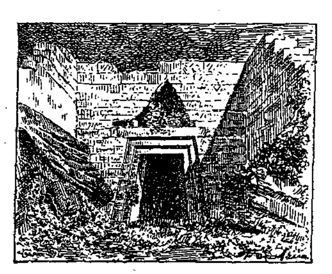
Es digno de notar la disposición de las piedras que componen una misma hilada; todas tienen la forma de trapecio (Fig. 20) mixtilíneo, dejando entre sí en las juntas verticales (por no estar en inmediato contacto) un espacio triangular rellenado por otras piezas de menor tamaño ultimando y macizando así en todas las juntas cada anillo en particular y al cual comunican una presión más uniforme; contribuyendo igualmente á este objeto el peso de toda la tierra que se colocó sobre el citado monumento pues este es subterráneo haciéndose el ingreso en él por un pasaje al descubierto de 19'50 metros de longitud por 6'25 de ancho.



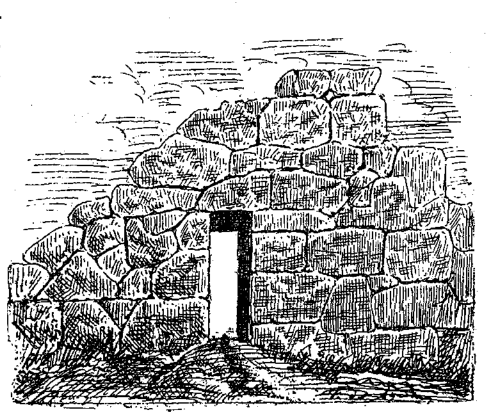

Fig. 20. Detalle de aparejo en el Tesoro de Atreo.

La puerta tiene sus jambas ligeramente inclinadas sobre

las cuales descansa un dintel enorme de una sola pieza de 8'15 metros de longitud, 6'50 ancho, 1'22 de espesor. Descúbrese encima de esta pieza colosal un hueco triangular el cual á la vez que facilita la iluminación interior sirve para aligerar algún tanto la carga que ha de soportar el mencionado dintel transmitiendo á las jambas de la puerta el peso considerable de la construcción, (Fig. 21) haciendo un oficio análogo á lo que hoy diríamos arco de descarga.

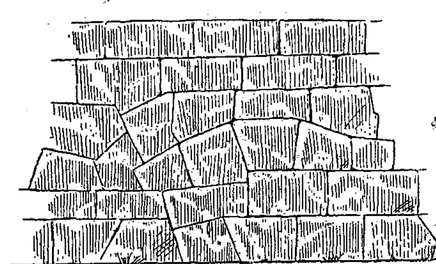

Fig. 21. Entrada al Tesoro de Atreo.

29. Si se observan bien las diversas construcciones Pelásgicas en sus sucesivas épocas se podrá notar visiblemente un progreso lento en lo que se refiere á los cortes de las piedras. Partiendo las investigaciones desde la construcción que se refiere á los muros de Tirinto, allí empezaremos viendo que preside no más lo grosero y rudeza de la disposición con ausencia de toda clase de cortes y desbaste. Los bloques tal como salen de la cantera son llevados á su asiento definitivo colocados unos en pos de otros, y como han de dejar por su misma naturaleza aberturas, huecos é intersticios de más ó menos entidad, éstos se llenan de piedras mucho más pequeñas las que se alojan remachándolas para obtener la correspondiente compresión y así evitar el juego de las falsas juntas y tener seguridad de haber anulado todo movimiento. Nada pues de más simple y primitivo.


Fig. 22.—Muros de la Acrópolis del Sámico.

30. Vienen después las substrucciones de las murallas de Mantinea y alguna parte de la antigua Acrópolis del Sámico (Fig. 22) en donde las piedras no teniendo las exageradas dimensiones de las de Tirinto son ya simplemente desbastadas, no labradas, pero de tal modo y con tal cuidado prolijo que los ángulos ya agudos ú obtusos de las piedras adyacentes tienden á ajustarse aunque dejando algún tanto uno que otro hueco que viene rellenado á semejanza del sistema anterior para impedir todo movimiento de asiento, aumentar la trabazón y formar una sola masa.

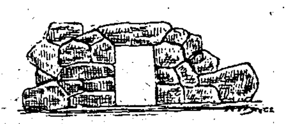
31. Vemos luego mejorado este sistema en los muros de Platea, Queronea y Micenas y aquí las piedras poligonales se combinan con otras de forma rectangular pero con la diferencia que el simple desbaste es más entretenido y laborioso (Fig. 23) y con su mayor precisión no necesita las pequeñas piedras suplementarias para rellenar los huecos que ya no existen y finalmente aparece por último el aparejo de hiladas horizontales, pero continuando las piedras desbastadas y las juntas discontinuas inclinadas al horizonte aprovechando con ello los mismos biseles que tenían las piedras al salir de la cantera porque así la operación del desbaste no se hacía tan enojosa como lo hubiera sido indudablemente al tener que desgajar las extremidades de las piezas y luego venir al desbaste prolijo para darles la forma rectangular.


Fig. 23.—Muros de Platea.

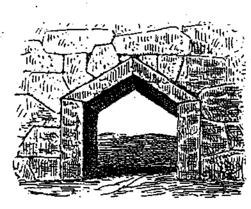
32. Indícase de un modo primitivo la disposición de las puertas tendiendo en ellas en el modo de colocar las piedras á que la cobija superior cumpla con los mejores requisitos, de resistencia. Así por ejemplo las hay que sus jambas están en el sentido convergente hacia el dintel como tendiendo á disminuir el vano por la parte superior á fin de que la pieza adintelada tenga menos luz y más asiento como la de Micenas (Fig. 18). En otros casos se consigue el mismo objeto dejando las jambas verticales de modo que las piedras superiores tengan sus paramentos interiores laterales inclinados hacia el hueco de la puerta como en Signia y Circe (Fig. 14).

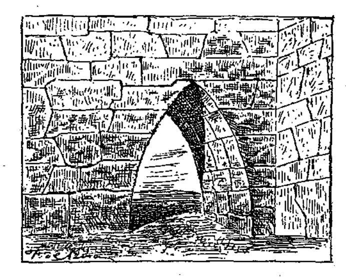
33. En otras, algunas de las hiladas superiores van sobresaliendo unas de otras en resalto (Fig. 15) reduciéndose más y más el vano prestando mucho mas asiento al dintel.

34. Hay ejemplos como en Signia en que la piedra del dintel termina lateralmente en dos planos inclinados (Fig. 24) afectando la forma de trapecio y esta disposición aunque muy embrionaria da algún tanto la idea de lo que más adelante modificado y mejorado había de dar pie al verdadero despiezo dovelado al tratar de cambiar los esfuerzos de flexión por los de aplastamiento.


Fig. 24.
Puerta y Muros de Signia.

35. Se encuentra también como en la puerta de Alea en que el vano está cerrado por la parte superior (Fig. 25) afectando la forma de un triángulo isósceles ó también el vano triangular interrumpido por un dintel como en el Tesoro de Atreo y finalmente apareciendo por primera vez un arco apuntado no dovelado como en Tirinto y Arpino (Fig. 26).


Fig. 25.—Puerta de Alea.


Fig. 26.—Puerta de Arpino.

36. Llama en gran manera la atención en esta época el aparecimiento de la primera bóveda labrada con bastante de-

tención en su intradós tal como hemos referido en la del Tesoro de Atreo, cual bóveda de forma que tiende á la parabólica aparejada según hemos indicado por hiladas horizontales cuyo sistema dá lugar á varios inconvenientes cuales son uno de ellos los ángulos excesivamente agudos formados por la arista superior de cada hilada cuyo ángulo puede romperse fácilmente bajo el peso de las hiladas superiores, por otra parte encontrándose colocadas las piedras simplemente unas sobre otras descansando sobre planos horizontales pueden resbalar con suma facilidad bajo los esfuerzos ó empujes horizontales y esto es precisamente lo que ha resultado en la bóveda de que tratamos en la parte que se encuentra frente á la puerta de entrada.

Este sistema de construcción y especial despiezo se ha visto aplicado también en algunos edificios romanos y en especial en una cueva de la cárcel Mamertina.

37. El período clásico empieza á manifestarse con el empleo cuidadoso de los materiales y su atinada disposición en obra haciendo que todo sea razonado, nada huelgue; el estudio de los aparejos de esta época nos ha de indicar pues, mejor que otro dato cualquiera la estructura general referente á la parte estereotómica que por cierto era bien sencilla, pues sencillo era su sistema de construcción.

El aparejo poligonal caido en desuso desde el final del siglo VII antes de J. C. vino á ser sustituído por el cuadrangular de hiladas horizontales, tallados los bloques en forma de sillares y labradas sus aristas muy finas y vivas, con toda pulcritud. Las juntas verticales discontinuas correspondian exactamente en medio de los sillares superior é inferior en donde caían comprendidas las piedras colocadas sin mortero pero enlazadas entre sí, por medio de abrazaderas ó grapas de metal, y algunas construcciones en que se exigía más pulcritud las superficies de junta estaban labradas de tal modo que su contacto interno llegaba á un grado tal que con dificultad podíase descubrir la línea divisoria.

33. De aquí nace el aparejo *isodomón* esto es de hiladas iguales, de disposición igual en todas sus partes y el más difundido (Fig. 27) en los edificios griegos como por ejemplo: En el Erecteo

Fig. 27.—Templo del Erecteo aparejo isodomón.

39. El de hiladas iguales alternadas, esto es una hilada intermedia más pequeña que la anterior y posterior (Fig. 28); existiendo pues en este sistema dos clases de hiladas siendo las impares todas iguales y de mayor dimensión que las pares que también son iguales entre sí. Este aparejo es el llamado **Pseudo-isodomón** y se vé ejecutado en uno de los pedestales de la Acrópolis

40. El aparejo en *Diatonus*: combinación en las hiladas de modo que los sillares presenten su cara en el paramento ya por la testa del sillar, ya por su parte lateral, disposición que se presta á varias combinaciones. Una de ellas puede citarse uno de los muros de la puerta de Megalópolis (Fig. 29). Esta ciudad fué la última capital de la Arcadia, fundada en el año 270 a. de J. C. poco después de la célebre batalla de Senthe y construída, según Pausanias en el corto tiempo de tres años.

También vemos el *Diatonus* pero con almohadillado en el teatro de Megalópolis pero aquí una de las hiladas está colocada á Soga y la otra á Tizón.

Ejemplos de almohadillado

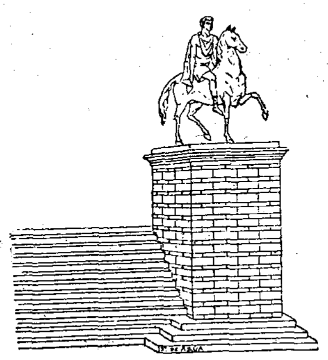


Fig. 28.
Pedestal del Acrópolis de Atenas aparejo Pseudo-isodomón.

(Fig. 30). nos lo muestra el basamento del monumento á *Lisicrates.*

41. Las construcciones más sobresalientes de este período son el tan célebre y renombrado Partenón, los Propileos ejemplo notable de belleza arquitectónica, el clásico Erecteo, el templo de Teseo, modelo de severidad, etc., etc.

Todos los templos reciben nombres especiales, según el número y disposición de las columnas que lo rodean. Están terminados por cubiertas de dos pen-

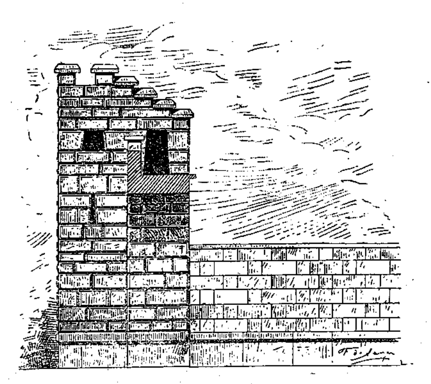


Fig. 29.—Puerta de Megalópolis Aparejo Diatonus.

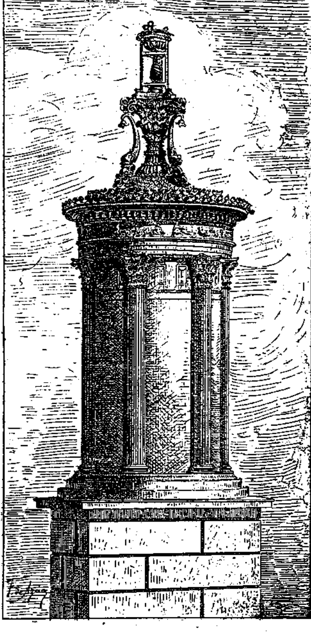


Fig. 30. Monumento á Lisicrates Ejemplo de almohadillado.

dientes, cuales hacen nacer los frontones apareciendo los cornisamentos compuestos de los tres elementos principales como son: el arquitrabe, friso y cornisa los cuales según la disposición con que se combinan entre sí y para con respecto á su grueso necesitan despiezos especiales.

La figura 31 demuestra el despiezo llevado á cabo en el cornisamento y frontón de un templo períptero en Selinunta.

La figura 32 indica la disposición de un cornisamento en su despiezo interior expresando el enlace de las piezas en el grueso del muro.

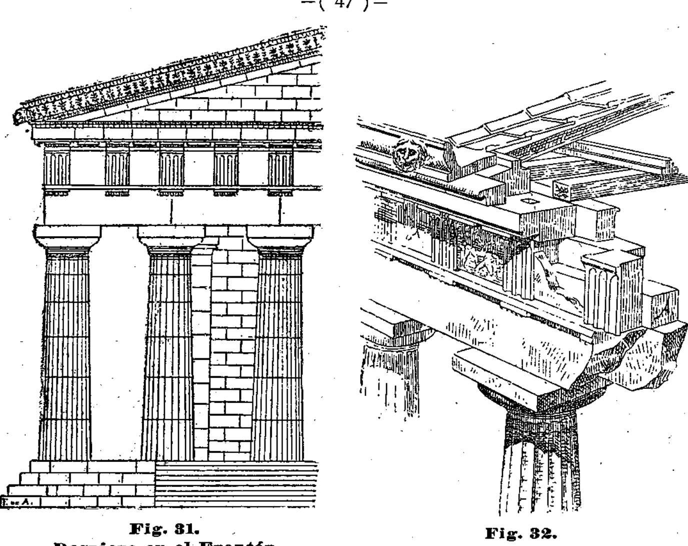


Fig. 31. Despiezo en el Frontón de un templo en Selinunta.

Fig. 32. Despiezo en un cornisamento.

Un corte representa la figura 33 dado en medio del frontón del templo de Diana en Eleusis. Piezas de metal coadyu-

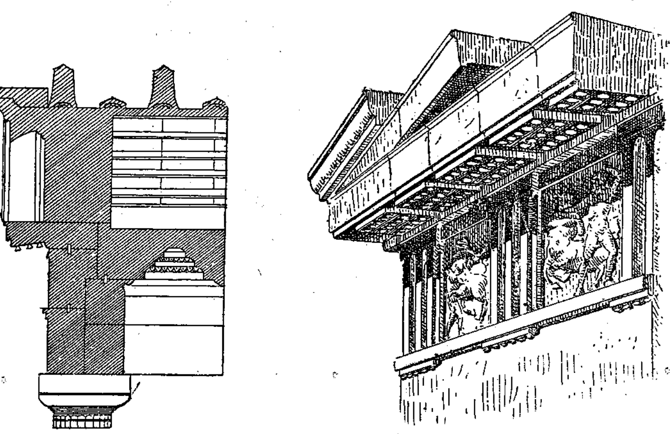


Fig. 33.—Corte en el frontón del templo de Diana.

Fig. 34.—Frontón.

van al enlace así como alguna piedra en resalto cabalgando sobre dos hiladas ó asientos á distinta altura unifican perfec-

tamente las distintas partes en el grueso de la construcción.

El *frontón* arranca directamente de las molduras con que remata la cornisa figura 34 la cual siguiendo las pendientes de dicho frontón encierra junto con la cornisa un espacio triangular llamado *Tímpano*.

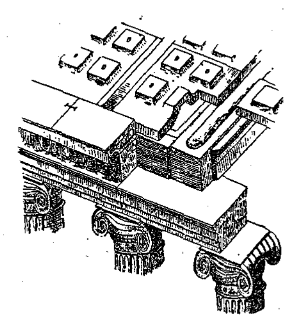
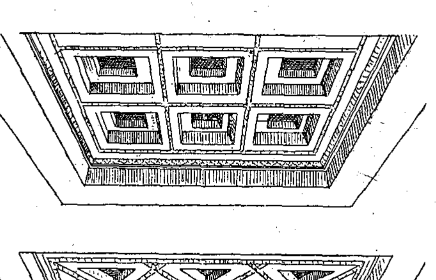


Fig. 35.
Disposición de las piedras formando casetones.

42. Techos en los pórticos.— Los espacios porticados estaban cubiertos por simples piezas de piedra horizontales formando un techo plano, pero hay muchos casos que se les acompaña con casetones valiéndose de géneros de despiezo bastante ingeniosos en los cuales se produce el ornato acusado por la misma construcción.

Piezas de piedra **A** (Figura 35) acompañadas de las correspondientes molduras iban apoyadas por sus extremos en el arquitrabe del intercolumnio por una parte y por otra en el muro del recinto del templo, otras piezas de piedra **B** descansando sobre estas últimas **A** cierran completamente el espacio y llevan consigo trabajados el hueco ó fondo de los casetones con el ornato que corresponde á cada pieza. Su disposición en forma de cuadrados ó paralelógramos puede variar de muchas maneras á la par que dicha decoración. (Figura 36).



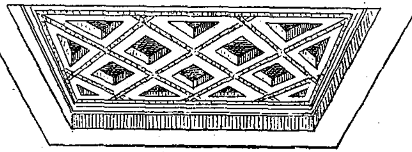


Fig. 36.—Formas de los casetones.

43. Pavimentos. — Disposición y despiezo en los mismos.—Muchos son los edificios y especialmente los

templos que nos han conservado restos de pavimento ya en la nave ó ya en el pórtico. Regularmente están formados (Figura 37) de largas losas de mármol ó piedra aparejadas en sus distintas hiladas á junta encontrada esto es junta que caiga

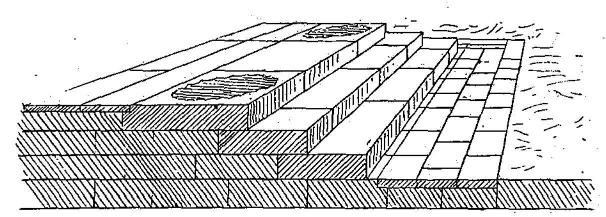


Fig. 37.—Despiezo en los pavimentos.

en medio de la pieza de la hilada siguiente asentado todo sobre un lecho de mampostería. Estas piezas ajustadas con extrema pulcritud iban muchas veces acompañadas de pinturas con representación de ornato.

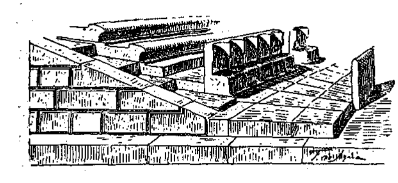


Fig. 38. — Disposición y despiezo en las gradas de un teatro.

El pavimento que correspondía al templo de Olimpia era formado de mármol negro.

La figura 38 demuestra la disposición y despiezo del pavimento y gradas para asientos en un teatro griego; es el de Dionisos. Estas gradas se desarrollan en semicírculo alrededor de lo que llamaban orquesta.

La primera línea ocupada por los asientos de más importancia en forma de sillones, era destinada á los Arcontes.

43. Roma. — *Muros.* La antigüedad de la muralla de Roma alcanza al año 750 a. de J. C. en cuya época Rómulo echó los cimientos de la ciudad en el Monte Palatino trazando una circunferencia con una pieza de arado, alrededor del collado circuyéndola de muro en el cual abrió las tres puertas célebres llamadas Mugonia, Capena y Romana correspondientes á los tres accesos naturales de dichos montes. La Roma de Rómulo ocupaba pues toda ella el área del Palatino el cual estaba rodeado por un muro que alcanzaba un

kilómetro de perímetro añadiéndosele después los montes de Saturno, Capitolino, parte del Quirinal y del Celio pero fuera ya del recinto amurallado ocupando el primero los Sabinos, el segundo los Romanos y el tercero los Etruscos que habían prestado ayuda á Rómulo. Su sucesor Numa Pompilio cuyo reinado comprende del 714 al 671 a. de J. C. comprendiendo que no estaba muy segura la población que ocupaba las afueras del Palatino la circuyó también de una muralla fabricando así un nuevo recinto que cerraba el monte Capitolino y la parte próxima al Quirinal. Julio Ostilio reinando del 671 al 639 a. de J. C. habiendo vencido á los Albanos les obligó á trasladarse á Roma para aumentar la población y á este objeto circuyó el monte Celio constituyendo así el tercer recinto romano. Anco Marcio (del 632 al 614) vencidos los latinos y arruinadas sus ciudades obligó á los vencidos á tener su residencia en Roma señalándoles el sitio en donde debían permanecer cual era el collado del monte Aventino fortificando la ciudad hacia la parte occidental confinando con la Etruria y fundando los cimientos sobre el monte Janículo. Tarquino Prisco quinto rey de Roma (del 614 al 578) dispuso que la siempre floreciente ciudad fuese circuída de muros más sólidos compuestos de *piedras escuadradas y cortadas de forma regular* pero no pudo llegar á concluir el trabajo por haber sobrevenido la guerra. Lo continuó y concluyó Servio Tulio sexto rey de Roma (del 578 al 534) haciendo una masa sólida y juntando á la antigua ciudad lo que faltaba del Quirinal y de las pendientes del Veminal y del Esquilino y con esto tuvo Roma encerrado en su recinto siete montes exclusión hecha del Janículo que como se hallaba á la otra parte del río vino á servir como á ciudadela (Virgilio Geórgicas II).

Las murallas de Servio fueron construidas con piedras cuadradas y rectangulares, cortadas todas con arte y unidas sin material de enlace, guarnecidas de trecho en trecho por medio de torres y flanqueadas en sus bases por profundos fosos que hacían inexpugnable la fortaleza como así sucedió en la mayor pujanza de Roma.

De lo dicho se infiere que los muros de la antigua Roma fueron obra exclusiva de sus seis primeros reyes sirviendo dichas murallas sin ninguna modificación, durante el gobierno de la república y también en los tres primeros siglos del imperio ó sea en el largo intervalo de 8 siglos, hasta llegar al emperador Aurelio (del 270 al 275 de nuestra era). Aurelio

circuyó la ciudad de nuevos muros reforzados con torres no sin previa consulta del Senado. Terminó la obra de Aurelio Probo, y pasó luego un siglo sin que se hiciera nada más de particular ni siquiera restauración, hasta llegar el tiempo de Honorio quien mandó hacer algunos reparos fortificando más la muralla dotándola de sólidos torreones coronándolos de almenas y renovando las entradas. Esta restauración se terminó en el año 402 de lo cual se dejó noticia á la posteridad por medio de inscripciones que algunas de ellas han llegado á nuestros días. Estas murallas sufrieron algún deterioro en el año 455 en que acaeció la irrupción de los Vándalos volviéndolas á restaurar en el año 500 Teodorico rey de los Visigodos.

En el año 536 fué librada Roma del gótico dominio por los ejércitos del general griego Belisario que circuyó á los muros de nuevos fosos coronando las murallas de almenas angulares. En el año 546 el godo Fotila derribó cerca la tercera parte del recinto pero volviendo á tomar la ciudad Belisario, con solo veinticinco días las rehizo aprovechando toda clase de piedras, fragmentos de mármol, tierra sin mortero de lo cual se descubren algunas huellas en determinadas puertas de la ciudad antigua. Terminada la guerra con los godos y habiendo puesto en Rávena la residencia del lugarteniente del emperador de Constantinopla, Roma quedó abandonada á si misma hasta que en el año de 593 el cuidado de los Papas, puso mano á la conservación de los muros romanos como lo indican así las lápidas existentes y que tuvimos ocasión de leer en el año 1880.

44. El aparejo que emplearon los romanos en la construcción de los muros era distinto y de varias clases. Uno de ellos el *opus incertum* ó antiguo quedaba reducido á hechar mano de las piedras tal como se extraían de la cantera superponiéndolas y adaptándolas entre sí sin producir orden en las hiladas, y sí, una serie de juntas en todas direcciones, cuyas líneas quebradas aparecían en las caras de paramento efectuándose el contacto en ellas en todo el perímetro de las piezas. Era de dos clases una de ellas el grueso de la piedra era el mismo grueso del muro y entonces el trabajo había de ser más prolijo tanto en los paramentos como en los contactos labrando de un modo especial las caras vistas para que presentaran un buen aspecto. (Fig. 39).

El segundo sistema de este aparejo consistía en que el *opus incertum* formase parte exclusiva de los dos paramentos del muro, pero como éste en nuestro caso se supone ser de un espesor considerable quedaba un intermedio vacuo entre los dos paramentos formados anteriormente cuyo vacío se suplía con un relleno formado de una masa compuesta de piedra mucho más pequeña mezclada con mortero cuya disposición era una de tantas de las que constituían el aparejo llamado **Emplectum**. Aquí en este caso las piedras del *opus incertum* son completamente rústicas, groseras sin ninguna clase de labra verdaderamente tal como salen de la cantera.

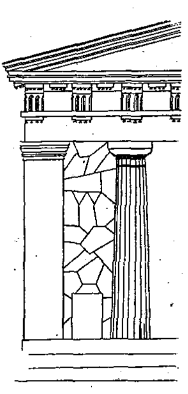


Fig. 39.
Templo de Temide en Ramnunte.

Con el fin de reforzar en los ángulos esta clase de muros se solían construir en sus extremos fajas verticales de piedra sillar con entradas y salidas alternadas en los sillares que constituían esta especie de pilar para que estos redientes pudieran retener más fuertemente las colas alternadas que formaban las pequeñas hiladas. La mayor parte de veces cuando se empleaba el *opus incertum* en el segundo caso que se ha indicado se echaba mano de un revocado y enlucido que ocultaba las asperidades que presentaban la discontinuidad de las piedras en el paramento dándole en cambio una superficie lisa y continua.

45. **El opus reticulatum** de los griegos fué también muy empleado entre los romanos y ya se construía valiéndose de piedras pequeñas ó ya también echando mano del ladrillo. Las hiladas están inclinadas de 45° al horizonte formando así una red ó cuadrícula de donde se

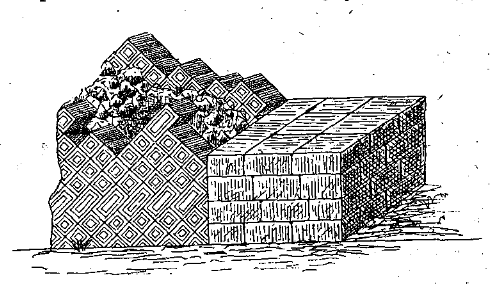


Fig. 40.—Opus reticulatum.

sacó el nombre. La forma de las piezas que la componían era en unos como á pirámide truncada y en otros como á forma de paralelipípedo (Fig. 40) en general se empleaba este aparejo como á simple revestimento de muros que luego se terminaban por el sistema del emplecton. Ejemplos de esta naturalza nos lo ofrecen varios muros de la casa de Mecenate en Tívoli, las ruinas del templo de Hércules en el mismo Tívoli, los restos de la casa de Luculo en Frascati, los muros del palacio de Domiciano en Castel Gandolfo.

46. Aparejo muy especial era el llamado *opus spicatum* que regularmente se disponía para la construcción de pavimentos. Las piezas están colocadas de canto formando entre sí ángulos iguales (Fig. 41) asemejando cada faja de ellos en el sentido que se la considere como la espiga de una mies de donde proviene el nombre. Muchas veces se cubría este pavimento por medio de una mezcla cuyo resultado era el mortero viniendo muchas veces á recibir el suelo definitivo que era el mosáico. Había constructores destinados exclusivamente á esta clase de trabajos y se conocían por *pavimentari*.

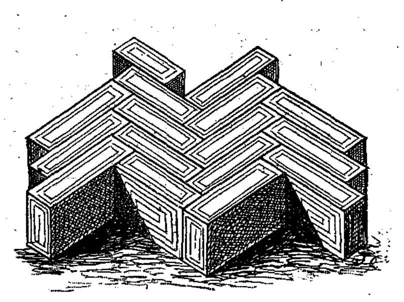


Fig. 41.—Opus spicatum.

En general las piezas que formaban este aparejo eran ladrillos especiales fabricados exprofeso pero hay casos aun que raros que se echó mano de la piedra, uno de tantos ejemplos que se pueden citar es el de la morada de Adriano en Tívoli. Alguna que otra vez se ha visto empleado el *opus spicatum* constituyendo fajas ó verdugadas en los muros.

El aparejo formado de piedra escuadrada fué también muy empleado por los romanos y esto desde muy antiguo como lo prueba la cárcel Mamertina, Cloaca máxima y los restos que se descubren aún en la muralla construída por Servio Tulio y más adelante lo prodigaron en toda clase de construcciones monumentales adoptando todos los sistemas y disposiciones de enlace de los griegos y que hemos visto

en su lugar correspondiente con los nombres *isodomon pseudo-isodomon y diatonus.*

47. Mientras que los romanos no estuvieron en comunicación con los griegos, es un hecho que no contaron en sus construcciones ningún edificio que parangonarse pudiera con los monumentos helénicos pues al principio y durante la república no eran muy dados los romanos á emprender construcciones de lujo y ostentación limitándose tan solo á trabajos verdaderamente útiles y de pura necesidad que en definitiva redundaban siempre y eran beneficiosos al Estado y á las poblaciones en particular desarrollando según esto su ingenio en otra clase de especiales é importantes construcciones como eran los acueductos, las cloacas y algunos templos recurriendo para esto á los etruscos. Pero ya una vez terminada la segunda guerra púnica (200 años antes de J. C.) habiendo trabado relaciones con los griegos, estos fueron llamados á Roma, y con su auxilio se levantaron el sinnúmero de edificios con los cuales Sila, Mario y César enriquecieron la entonces capital del mundo así como otras ciudades del imperio romano. Especialmente el emperador Augusto comunicó nuevos alientos estimulando en todos conceptos á la pléyade de artistas griegos que allí habían acudido y de quienes era acérrimo protector; así es que bajo los auspicios del eximio Augusto se erigieron por doquier monumentos de valía difundiéndose el gusto y los buenos modelos del arte arquitectónico.

Los edificios públicos no fueron los únicos que se construyeron con el lujo hasta entonces desconocido sino que también la riqueza y magnificencia se extendió á los edificios privados cambiándose de momento y como por encanto la faz de Roma. La ciudad de ladrillo se convirtió en otra de mármol.

Los sucesores de Augusto continuaron la obra de este gran emperador y entre ellos merecen particular mención Neron, Vespasiano, Trajano y sobre todos ellos Adriano entusiasta hasta el frenesí por el arte arquitectónico. Adriano era emperador y arquitecto al mismo tiempo.

Antonino, Alejandro Severo y Diocleciano prosiguieron tan loable senda, hasta que Constantino dispuso la traslación á Bizancio de la sede del imperio y entonces fué cuando cesó en Roma el catálago de tales monumentos y notables edificios

para empezarlo nuevamente en Constantinopla en donde adquirió nueva vida.

Cuando la arquitectura griega se naturalizó en Roma había ya alcanzado la culminación de su fuerza y hasta puede decirse iniciado el momento de su decadencia cuyo gérmen implantó en Italia; pero con esto y todo se abrían nuevos horizontes al genio helénico. La grandeza de las dimensiones, el uso de materiales más ricos y variados; la necesidad de construir monumentos desconocidos en la Grecia, la aparición de los arcos y bóvedas elementos sinó desconocidos en absoluto á lo menos no usados por los griegos; la inmensa extensión relativa que se había de cubrir y el gusto rayano en frenesí de los emperadores á la ostentación y suntuosidad hasta entonces sin ejemplo, todo contribuyó á la concepción y edificación de obras notabilísimas y más maravillosas por sus colosales dimensiones que aquellas con las cuales se envanecían los griegos.

Del mismo modo que el orden dórico era adoptado indistintamente en los templos y edificios importantes de la Grecia como el orden jónico en el Asia menor, así el corintio en sus distintas variantes según la mayor ó menor riqueza aplicada vino en un uso general en Roma.

Pero así como en la Grecia los órdenes habían siempre seguido sus tradicionales principios en cada una de sus partes y especialmente en el cornisamento insiguiendo siempre sus primitivas disposiciones; no sucedía así en la Italia y en los principales monumentos de Roma pues los órdenes; este elemento característico y racional se convirtió en objeto de pura tradición empleándose sin motivo ni necesidad.

Esto fué el primer paso hacia la decadencia de la arquitectura romana y llevó al arte al olvido de los buenos principios, de cuyo abandono surgieron enseguida otros defectos. Entonces aparecieron los resaltos en las construcciones abusando de los cuerpos entrantes y salientes, pedestales acompañando á las columnas; empezaron á adoptarse las columnas jemelas, columnas empotradas, superposición de órdenes, frontones circulares y otras tantas combinaciones empleadas con poco acierto y uso arbitrario; y que en su origen podían tener con todo un motivo razonado pero que últimamente había degenerado en abuso, imitación ciega y reproducciones sin causa.

En medio de todo en Roma como en la Grecia el uso del

dintel combinado con las columnas sirviéndole de apoyo era lo poco que se había conservado en su fuerza original.

Pero si la construcción de otros monumentos tales como las basílicas, anfiteatros, palacios y principalmente las termas en donde la construcción de bóvedas estaba ya en uso, condujo al empleo de la columna como objeto de adorno así como de necesario apoyo á esta clase de construcciones, dió lugar también ya de por sí misma ó ya por la complicada distribución, al desvío hacia los buenos principios de la arquitectura griega no pueden negarse que por otros senderos se llevaron á cabo obras también de singular mérito para hacer mención de ellas y ocupar un preferente sitio en la historia del arte y estos senderos fueron debidos en su mayor parte de casos á la introducción de nuevos elementos constructivos que ya no trabajaban como en la arquitectura griega por simple presión vertical sino que habían de obrar desarrollando esfuerzos de indispensable contrarresto, por la atinada situación de las piezas destinadas al efecto. La introducción del arco de medio punto adovelado indica ya por cierto un nuevo y verdadero sistema de construcción que satisface á la vez las exigencias geométricas y estáticas, siendo consecuencia de su multiplicación y combinaciones distintas las construcciones formando techo arqueado ó sean las bóvedas. Especialmente los dos géneros matrices cuales son el cañón seguido y la esférica. La primera por el movimiento del arco de modo que su centro recorriera todos los puntos de la recta que partiendo de dicho centro fuese perpendicular al plano de la curva conservándose siempre paralelo en sus distintas posiciones, así es como deberían concebir el primer techo abovedado así como originarse la bóveda esférica por la revolución del arco al rededor del eje vertical.

48. El primer ejemplo de cañón seguido adovelado aparece en la *Cloaca Máxima* y el primer ejemplo de bóveda esférica data de la época de Augusto; es el *Panteón de Agrippa*, aunque si bien esta bóveda no está construída de cantería, se dió en ella el primer paso para hacer concebir más tarde la resolución del problema empleando exclusivamente el material pétreo aparejado.

La Cloaca Máxima (Cloaca de Cluere que vale tanto como purgar) fué construída por Tarquino Prisco (del 657 á 576 a. d. J. C.) Fig. 42, concluída por Tarquino el Soberbio, restaurada por Catón el Censor. Su construcción fué motivada para dar salida á las aguas que se estacionaban en la cuenca que se formaba entre los montes Palatino y Capitolino; para luego desembocarlas en el Tíber. Su importancia era tal que para su continua conservación y régimen se nombraron perennemente empleados especiales conocidos por **curatores cloacorum.**

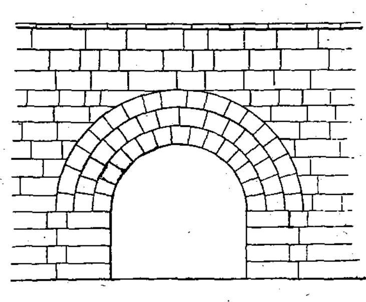


Fig. 42.—Cloaca Máxima.

La bóveda la componen tres arcos de medio punto superpuestos y adovelados y tiene una luz de 4 m. Según Nieblhung cada dovela tiene una longitud de 1'672 y una altura de 1 metro. Parte de ella se encuentra aun bien conservada dando una perfecta idea de la grandiosidad en que en todas épocas y en toda clase de construcciones concebían y realizaban sus obras los romanos.

Esta construcción en su clase es la mayor que existe abstracción hecha de las mayores y tan celebradas de Londres si bien estas obedecen en su formación á materiales distintos.

Si nos fijamos en las construcciones de los romanos durante el tiempo de la república veremos que son de una clase especial llevando un sello esencialmente utilitario ya al Estado, ya al público en general. Las obras hidráulicas fueron las que llamaron en primer término su atención y el establecimiento de grandes calzadas y vías de comunicación entre las distintas ciudades de la república, contribuyeron á desarrollar un espíritu de trabajo de resultados altamente beneficiosos para los intereses de la república, adquiriendo hábitos austeros y prescindiendo de toda clase de edificios que destinados fuesen al lujo y ostentación y si bien es verdad tuvo lugar en esta época la erección de algunos templos dedicados á divinidades alegóricas no fueron estos por cierto los que sobresalieron bajo el punto de vista de belleza arquitectónica y riqueza en sus detalles y conjunto. Las necesidades pues; que paulatinamente sobrevinieron á los romanos

relativamente á obras de arquitectura, en virtud de los grandes edificios que concibieron y los grandes espacios que en virtud de sus proyectos habían de salvar hizo que aguzaran su ingenio buscando un nuevo elemento que les diera fácil solución en el nuevo camino que iban á emprender, obligándoles á aprovecharse del arco que ya habían visto entre los etruscos; y ya conocido y puesto en elemental práctica, lo estudiaron en sus distintas manifestaciones siendo fruto de su trabajo la aplicación de los medios, recursos y ventajas que semejante elemento proporciona.

Derribados los Tarquinos, el pueblo abandonó el gobierno monárquico recobró la soberana autoridad y no pensó más que en extender los límites de su dominación. Andando el tiempo aumentó la comunicación y el comercio con los Griegos, entonces fué cuando empezaron á levantar edificios más soberbios y regulares dando un paso notable la arquitectura romana pues de los Griegos derivaron la excelencia de este arte. Antes de esta época no tenían sus edificios cosa más recomendable que su solidez y grandeza.

En rigor hasta los últimos tiempos de la República y de los Emperadores, esto es, luego que se hizo dominante en Roma el lujo, no se vió en ella la arquitectura en todo su apogeo y esplendor. Pero desde el momento que llegó este período vinieron en tropel sucediéndose en gran número las obras magníficas, grandiosos y soberbios edificios que aun hoy puede ostentar la Roma actual. Los acueductos maravillosos por su altura y extensión, los soberbios puentes, los ricos y lujosos arcos de triunfo, los grandiosos anfiteatros y en especial el renombrado Coliseo, el Panteón, las tan renombradas termas, las columnas Trajana y Antonina todas son construcciones éstas que nos dan el sello característico de la potencia de aquel pueblo acostumbrado ya al dominio de las naciones.

Sin embargo bajo el punto de vista estereotómico poco puede reseñarse ya que si bien es cierto aparecieron la bóveda esférica y alguna de sus congéneres así como la bóveda simplemente por arista estas fueron construídas de ladrillo ó de este combinado con piedra no aparejada quedando no más limitada la edificación de piedra aparejada á los muros que ya no solamente eran limitados por superficies planas sino que también y en gran número aparecieron los cilíndricos y cónicos rectos. Del mismo modo los arcos circulares ya cumplidos ó rebajados se emplearon en la mayor parte de las construcciones siendo llevados sus despiezos de un modo tal que no han sufrido ninguna variante desde aquella época hasta nuestros días. Por lo tanto nos circunscribiremos á llamar la atención de las principales construcciones arqueadas que constituyen aquel período, considerándolas no más en el sentido de los cortes del material pétreo.

Hemos dicho que la introducción del arco de circunferencia entre los romanos llevó en sí un sistema de construcción especial nuevo hasta entonces y el que combinándole de varias maneras daba lugar á manifestarse de distintos modos la obra que se trataba de levantar y la cual dependía forzosamente del objeto á que ella estaba destinada.

En efecto en la misma Cloaca Máxima en que aparece el cañón seguido nos encontramos que el arco circular está superpuesto en sus tres gruesos y por mejor decir al considerarlos en toda su extensión que la cubierta que forma bóveda la constituyen tres cilindros ó tres bóvedas superpuestas que cada una de ellas podría formar de por sí una cubierta y con esto nos dá llevada así la construcción un sistema de refuerzo.

Si luego nos fijamos en los acueductos veremos que en ellos se ha aplicado el arco reproduciéndole en el sentido de la longitud, uno á continuación de otro formando una serie de ellos que algunas veces se hace casi interminable. Bien vemos aquí claramente que el sistema del arco ahorra la construcción del macizo de un gran muro de estenso desarrollo lineal así como de un grueso extraordinario pues que este grueso habría de ser proporcionado á la altura de la construcción. El arco pues empleado en el sentido referido, auxilia con sus rompimientos para que venga resuelto el problema de la economía con la elegancia y esbeltez de la construcción.

49. Acueducto (aquæ-ductus).—Uno de los primeros es el que mandó construir el censor Apio Claudio á quien se debe también la primera calzada de piedra que enlazaba á Roma con Capua. Este acueducto es el llamado Appiano que no hay que confundir con el de Claudio que construyó este emperador. El Appiano data del año 312 antes de Jesucristo; el de Claudio estaba construído de piedra de cantería labrada rusticamente. Tenía según Boccardo, 80 kilómetros de longitud de los cuales 15 tenían arcadas de 30 metros de altura.

Los acueductos se denominaban según el orígen de donde se tomaba el agua así como también se conocían con el nombre de la persona que los mandaba erigir. De esta suerte eran varios los acueductos conocidos en Roma llamándoles con los nombres de Agua-Appia, Agua-Marcia, Agua-Alsietana, Agua-Julia, Agua-Claudia, etc., etc.

No se limitaron los Romanos á levantar esta clase de construcciones en su propio suelo sino que las prodigaron también en todas partes donde su dominación hechó raíces. Uno de los principales acueductos de esta clase fué el de Segovia.

Colmenares en su historia de Segovia para expresar la gran importancia de esta construcción la considera y dice que es la obra más maravillosa que nos ha legado la antigüedad.

El P. Sigüenza califica á esta construcción de obra rústica bien entendida.

El material de construcción es piedra berroqueña extraída del mismo sitio, y la naturaleza de este granito ha sido tal que cruzado por vetas negras ha ido adquiriendo, ayudado eficazmente por la acción del tiempo, un tinte oscuro cual sobresaliendo más y más campeando en medio de los brillantes colores que ofrece en el azul del cielo, el verde paisaje lo rojizo del lejano horizonte con que aparecen al través de los ojos de las arcuaciones, hacen que aquel aéreo puente de doble línea de arcos tan altos y multiplicados, aquella grandiosa fábrica que impresiona agradablemente al ánimo admirando á la vez la sencillez, elegancia, severidad, su aspecto fuerte, venerable y fantástico de su conjunto.

Los sillares y dovelas están labradas á pico y trabajadas tanto las superficies de los paramentos como las juntas, de tal manera que no necesitan material de enlace para la debida trabazón. El despiezo en los arcos obedece al sistema antiguo de corte, esto es, si bien las piedras concurren todas al centro del arco, éstas trabajan independientemente de las hiladas del muro pues no forman parte de las mismas.

Por lo demás una de las descripciones más detalladas de este puente nos dice "Los arcos del acueducto empiezan con poca elevación desde la Caseta, y sostienen una gruesa pared de mampostería, sobre la que está colocada la canal que sigue por toda la obra arqueada hasta llegar á la plazuela de San Sebastián; continua luego por el Seminario conciliar,

y de aquí, ya cubierta por el piso de las calles, lleva el agua al Alcázar. Desde dicho punto de la Caseta hasta el primer ángulo, tiene 25 pies de elevación y 216 de longitud, y desde aquí al segundo ángulo, frente á la iglesia de la Concepción, 28 pies de elevación y 553 de longitud. Corre luego la obra de Este á Oeste, y llegando al tercer ángulo, junto al que fué convento de PP. Franciscos, tiene 44 pies de elevación en el pilar doble y 973 de longitud. En esta parte del acueducto están los arcos que se reedificaron á principios del reinado de doña Isabel la Católica, por un fraile del convento de Peral, llamado Pedro de Mesa; los arcos reedificados fueron 35, y la obra se hizo con tal perfección, que hoy apenas se distinguen de los antiguos. Es verdaderamente un esfuerzo del arte la obra de este ángulo, pues el pilar que lo forma hace una curva con la que varia la dirección del acueducto de Sur á Norte, con una pequeñísima inclinación al Oeste.

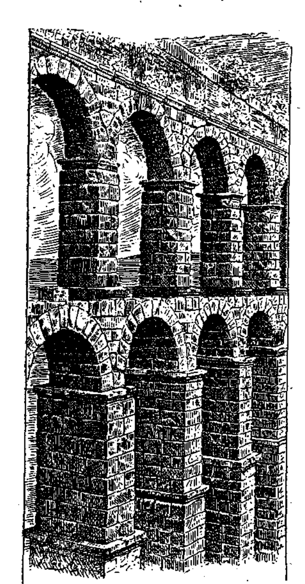


Fig. 43.-- Acueducto de Segovia.

Tiene 20 pies de frente y 44 de elevación. Aquí es donde principian los dos admirables órdenes de arcos, presentando la obra toda su grandeza, y sigue hasta la muralla, por donde entra el acueducto en la ciudad. En el primer orden, hay 43 arcos, y el primero está destruído hace ya muchos años; en el segundo hay 47, y la elevación es proporcionada al declive ó inclinación que toma el cerro, para descender á la plaza del Azoguejo, y en el que vuelve á tomar desde aquí para subir á la muralla. En el arco por donde se entra á la calle de San Antolín, tienen los pilares 91 pies de elevación, y en dicha plaza del Azoguejo, que es el sitio de mayor altura, 102: desde San Francisco hasta la muralla, hay 386 pies de longitud, y la total extensión del acueducto es de 2,621, con 114 arcos en el primer orden y 47 en el segundo. El grueso de los pilares, todos cuadrados ó cuadrilongos, es

muy variable, habiéndolos desde 7 pies á 22; pero tan notable diferencia llega á ser imperceptible, vista la obra en conjunto. Sus cimientos están á la profundidad de 14 pies.

Para que el agua tuviere movimiento más acelerado dieron sus artífices á toda la obra un pie de declive por cada 100 de longitud, de manera que desde el punto de la Caseta hasta el último arco hay 29 pies de inclinación. Los lechos de las piedras entre sí tienen tan exacta unión, que parece incomprensible como pudieron juntarse unas á otras, tan estrechamente, no teniendo trabazón de hierro, argamasa, cal, ni arena que formen mezcla, y es lo cierto que ninguna obra de semejante antigüedad se ha conservado también, llenando el objeto á que fué destinada.

El agua que conduce el acueducto tiene su origen en las fuentes que dan nacimiento al río llamado Ríofrio.

50. **Puentes.**—Los Romanos se distinguieron notablemente en la construcción de puentes. El famoso puente sobre el Danubio fabricado por orden de Trajano, bastaría por sí solo para inmortalizar á este emperador. Tenía 20 pilares para el arranque de sus arcos, cada uno de 16'74 metros de grueso, de 41 metros de alto, sin contar los cimientos, y á 44'64 de uno á otro. Sin embargo, era el paraje de todo el país, en donde era más estrecho el Danubio; pero era también el más rápido y profundo; y en esto parece encontraría dificultades invencibles la industria humana. Fué imposible apartar de allí el agua para fundar los pilares. En lugar de esto fué preciso hechar en la madre del río una prodigiosa cantidad de diferentes materiales y así obtener escolleras y estacadas hasta que llegasen á la superficie del agua para poder después construir los pilares, y restante de la fábrica. Trajano había hecho aquel puente para servirse de él contra los bárbaros. Al contrario, Adriano su sucesor, temiendo que no se sirvieran de él los bárbaros contra los romanos lo hizo derribar. El arquitecto que dirigió la construcción de tan sorprendente obra fué Apolodoro de Damasco quien había concebido y puesto en práctica distintas obras en tiempo de Trajano de quién era muy querido. Por cierto que el tal arquitecto tuvo un fin muy desgraciado (*).

(*) El emperador Adriano hizo construir un templo en honor de las Diosas Roma y Venus, en cuyo interior y alto estaban colocadas, sentadas cada una en un trono, hay razones para creer que el mismo dispuso el plano, y dió las medidas, porque se preciaba de sobresalir en las artes y sobre todo en la arquitectura hasta el punto de no necesitar según él decía el auxilio de arquitecto alguno. Luego que hubo concluído el proyecto lo mandó á Apolodoro. Se acordaba, que habiendo querido intervenir un día en dar su dictamen sobre algún edificio de que hablaba Trajano á Apolodoro, le había este arquitecto menospreciado, de que hablaba cosas que no entendía. Así, para insultarle y manifestarle que se podía hacer alguna cosa grande y perfecta sin él, le envió la planta de aquel templo, con orden expresa de que le manifestase su dictamen. Apolodoro no había nacido adulador, y bien conoció el ultraje que se le quería inferir. Después de haber alabado el primor, la delicadeza y magnificencia del edificio, añadió que, pués se le ordenaba que dijese su parecer, no podía disimular que encontraba en el un defecto: y era que, si les daba gana á los Dioses de levantarse, corrían peligro de romperse la cabeza, porque la bóveda estaba muy baja, y el templo poco elevado. El emperador conoció al instante la falta grosera é irreparable que había cometido, y no pudo disimular su disgusto. El arquitecto pagó la pena de su demasía y su demasiada franqueza, que puede ser no fuese ni moderada, ni respetuosa, le costó la vida.

Obra del emperador Adriano es también el puente Ælius, hoy día llamado puente de Sant'Angelo; lo mandó construir sobre el Tíber al objeto de pasar con comodidad y comunicar directamente con el soberbio Mausoleo (que se llamó mole Adriana, hoy castillo de Sant'Angelo) y grandiosos jardines cuales eran su pasatiempo favorito. Este famoso puente está construido de obra de sillería perfectamente aparejada, sus arcos son semicirculares en número de cinco ojos. Los tres

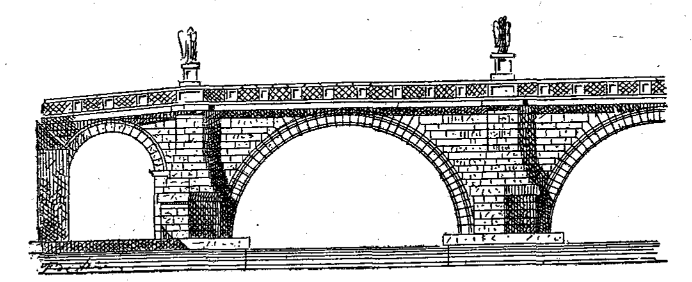


Fig. 44.—Puente de Adriano en Roma.

arcos intermedios de mayor radio que los dos extremos arrancan directamente sobre un pequeño zócalo que se desgaja del álveo del río y tienen una luz de 18'30 metros mientras que en los extremos los arcos son de 7 metros de luz arrancando en sus jambas á mayor altura que los otros. Aquí en este caso los arcos aparecen acompañados con arquivoltas y de tal manera que el despiezo llevado á cabo en

los tres arcos intermedios es tal que las dovelas que interesan dichas arquivoltas forman parte al mismo tiempo de las hiladas del muro dándonos así uno de los primeros ejemplos en que la forma de la dovela se presenta pentagonal. No así los arcos extremos en los cuales sus dovelas se presentan como de costumbre en aquellos tiempos independientes de las hiladas del muro. Es de notar en este caso la construcción de las pilas para la defensa de dicho puente y del modo como éstas en su despiezo están enlazadas con la masa general. El grueso del muro contado en la parte del arranque del arco, esto es, de arranque á arranque es de 7'32 metros. Cada uno de estos arcos puede muy bién considerarse atendida su extensión como un verdadero cañón seguido. Este monumento ha conservado sus disposiciones generales; pero ha sido objeto de restauraciones en distintas épocas. El pretil y las estatuas son de época relativamente moderna. El papa Clemente VII colocó las figuras de San Pedro y de San Pablo situadas á la entrada del puente hacia la parte de la ciudad y el arquitecto Bernin cumpliendo las órdenes del papa Clemente IX construyó la balustrada de piedra y hierro combinados, así como dispuso las diez estatuas de ángeles sustentadas por los sendos basamentos del referido pretil.

51. Arcos de triunfo.—Con este nombre son conocidas aquellas obras arquitectónicas de carácter monumental que constituyen un cuerpo aislado con una ó más arcadas de dimensiones no comunes; y que se erigían en honor de algún hombre célebre, ya por recordar sus triunfos en singulares batallas, ya por su advenimiento al ocupar el primer lugar del estado, ya también dedicado á la memoria de ciertas entidades en celebración de sus especiales merecimientos y virtudes.

Se levantaban los arcos de triunfo en los lugares más preferentes y que llamasen más la atención y al efecto eran por su emplazamiento escogidos los sitios más notables y públicos, tales eran; las entradas de las ciudades, los extremos de las grandes vías, los ingresos de los puentes más famosos ó en el centro de las plazas principales.

Otros había que á la vez hacían el servicio de puertas de ciudades como los arcos de Druso, el que hoy se conoce por arco de San Sebastián y el conocido también en la actualidad por arco de San Lorenzo.

Conviene observar que si bien los honores del triunfo en Roma era ya conocido durante el período de la república y aun el correspondiente á los reyes; sin embargo de este precedente no aparecen esta clase de construcciones, verdaderos símbolos de ostentación hasta la época de Augusto; aunque por algunos historiadores se nos habla de los elevados en honor de Rómulo, de Fabio, de Camilo y de otros; pero indudablemente que estas obras deberían ser fabricadas con ladrillo y material de no gran duración y escasa importancia, desde el momento que no quedan rastros de los mismos. Además como quiera que se diga que se construyeron algunos en

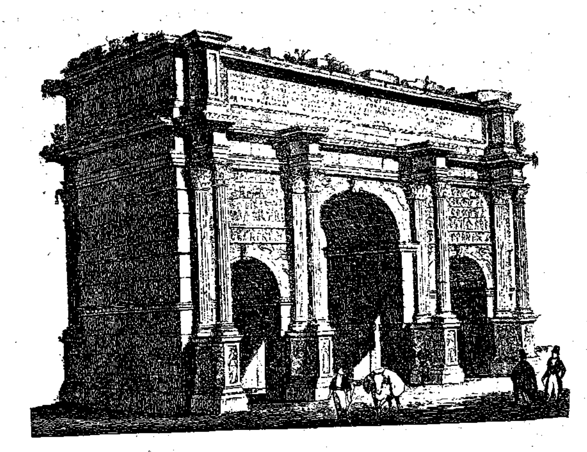


Fig. 45.—Arco de Septimio Severo.

época de Augusto hay la particularidad que Vitrubio que se supone florecía en tiempo de este monarca no nos habla para nada de este género de construcciones y aun más tarde nos habla de ellas como considerándolas de invención moderna, *novitium inventum*. La riqueza, el lujo, la magnificencia que llevaba en sí el asunto de tales monumentos fué motivo para que en ellos se aplicaran los órdenes arquitectónicos que se prestaran á mayor ornamentación auxiliados de toda clase de esculturas. Concurrían á todas estas propiedades la elección de los materiales que regularmente empleaban los más ricos y de superior calidad, siendo el mármol en los de más renombrada importancia.

52. Arco de Septimio Severo.—Fué eregido á la memoria del emperador cuyo nombre lleva y al de sus dos hijos Caracalla y Geta con motivo de las victorias obtenidas contra los Partos y los Arabes. Está situado en el extremo de la avenida del Capitolio. Lo componen tres arcos semicirculares, el del centro mucho mayor que los laterales pues que tiene 6,755 metros de luz mientras que los laterales tienen cada uno 2,943 metros. Cuatro columnas con sus pedestales dividen los tres compartimentos en donde se hallan establecidos dichos arcos, y sostienen al mismo tiempo los cuerpos salientes del arquitrabe, friso y cornisa y estas partes á su vez sostienen obras esculturales. Dichas columnas se apoyan sobre adornados pedestales ocupando su neto, trabajados bajo-relieves. Corona la parte superior de este monumento un extenso y riquísimo ático que antes á su vez daba apoyo á una cuádriga situada en el centro y á sendas estatuas las partes laterales. Los paños que dejaban las enjutas y los intercolumnios están todos ocupados por bajos-relieves y figuras alegóricas simbolizando triunfos, combates, ríos, estaciones etcétera. Se considera este arco de más valía que el de Tito y aun también que el de Constantino por la proporcionalidad de los miembros que lo componen y trazo más esmerado de su dibujo.

Obsérvase en el dovelaje de los arcos la tendencia á producir las juntas de modo que las dovelas sean de forma pentagonal constituyendo parte á la vez que del arco, y del muro, viniendo precisada cada pieza á llevar labrada consigo el trozo que le corresponde de la archivolta. Nótase á demás en el despiezo del arquitrabe y friso que algunas de las juntas en lugar de ser verticales como hasta entonces se iba practicando, se presentan algunas inclinadas al objeto de formar clave á semejanza de lo que suceder debía en tiempos posteriores al efectuar el despiezo en los arcos adintelados. El arco de Septimio Severo está construido todo él de sillares de mármol blanco, trabajados con la mayor pulcritud y presición y asentados sin ninguna clase de material de enlace ni mortero alguno.

53. Arco de Bará.—Es uno de los monumentos que fué elevado en honor y obsequio de Lucio Licinio Sura por sus grandes virtudes y servicios prestados á su patria. Era Licinio Sura tan conspicuo ciudadano que alcanzó por su saber y

valía la alta distinción de consejero é íntimo amigo de Trajano. Era hijo de Barcelona habiendo desempeñado en esta ciudad las funciones de sacerdote *fecial* y había sido miembro del Colegio Augustal de Tarragona. Fundó una academia en Roma é invirtió sus riquezas en obras públicas haciéndose por su conducta digno del aprecio de todos desde el emperador al último esclavo. El nombre de Arco de Bará se supone proviene de encontrarse el monumento próximo al sitio en donde se hallaba establecido el albergue público conocido en el país con el nombre de *hostal de Bará*, mientras que otros eruditos tratan de buscar la etimología acudiendo á la *Torre den Barra* distante como cosa de hora y media del citado arco.

Por otra parte si nos fijamos en la figura 46 veremos que la disposición de este arco es bien sencilla pues se compone únicamente de un pasaje cilíndrico en cañón seguido y de medio punto. El arco descansando sobre una pequeña imposta es en extremo elemental y sus piezas doveladas son independientes del muro, sus dos fachadas están decoradas con cuatro pilastras estriadas, dos á cada parte de la abertura referida, pilastras que descansan sobre un simple basamento algo saliente. Ninguna abertura contienen las partes laterales, adornadas con solo dos pilastras, y sobre todas corre el friso que corona una elegante cornisa. El des-

Fig. 46.—Arco de Bará. Tarragona.

piezo de los muros es sencillísimo así como también el que corresponde al cornisamento, y no podía ser otra cosa tratándose de un simple muro recto.

La elevación de este monumento hasta la cornisa es de 11'954 metros la luz del arco tiene 4'68 metros y el firme del pedestal sobre que descansan las pilastras 3'50 metros. Esta obra es de gran antigüedad pues alcanza unos 1760 años, ese dilatado tiempo no pasó en balde para esa fábrica pues su planta resintiéndose del peso que la hollaba hizo que las líneas del monumento sufrieran algún quebranto, desaparecieran las hojas de acanto de los capiteles, que el remate empezara á desmoronarse, y los trozos salientes angulosos en su principio vinieran á convertirse en superficies curvas de puro gastadas y roídas por la inundación de este número de siglos, finalmente algunos sillares fuera de su asiento natural dieron motivo hace muchos años á una restauración que por cierto no fué muy feliz por no estar en consonancia con el carácter del monumento.

54. Anfiteatros.—(αμφι, de todas partes, y θεαομαι, mirar ó ver).—Edificios de forma elíptica ó circular, con dos ó más órdenes de arcadas, con galerías al interior, y pasajes abovedados que sirven de comunicación al mismo tiempo que de apoyo á una serie de graderías en resalto las unas de las otras circundando un espacio central llamado arena ó circo. La etimología de la palabra anfiteatro indica un sitio en donde los espectadores colocados á lo largo de la forma circular les es susceptible de ver cómodamente el espectáculo y de igual manera desde todas partes. Algunos quieren suponer que los anfiteatros así como los combates de gladiadores viene de orígen de los etruscos; sin embargo la opinión general tiene por cierto que fué de origen romano haciendo su aparición en los últimos tiempos de la república, época en que se desarrolló en el pueblo la afición desmedida á todo espectáculo de sensación, de horrible crueldad y en el que no se escaseara el verter sangre. Los que dirigían la república trataban de secundar tan bárbaras diversiones á fin excitar y mantener firme y latente en el pueblo el espíritu valiente y animoso al cual se debió por cierto que se hicieran dueños del mundo. Después que Roma se hizo dueña de la Etruria, así como de toda la península italiana, se dió la primera lucha de gladiadores en Roma en el año 490 de su fundación,

Lucio Metelo llevó al circo los elefantes que había tomado á los cartagineses en el año 502, siendo esta la primera vez que se introdujeron en semejantes espectáculos, las fieras; esta novedad fué en extremo bien recibida por el pueblo romano, ávido siempre de emociones.

En tiempo de Pompeyo y de César, el bárbaro espectáculo se había desarrollado de un modo prodigioso.

Bajo el reino de Augusto, Statilio Tauro levantó un anfiteatro que se incendió en tiempo de Neron por lo que se deduce que no sería de piedra. Calígula empezó á construir uno que no llegó á concluir. Nerón construyó otro, grande y espacioso. Herodes en la Judea, erigió dos uno en Jerusalén, otro en Cesárea. Durante el reino de Tiberio se levantó uno en Fidene y según refiere Tácito parece que durante uno de los espectáculos vino al suelo, arruinándose completamente y pereciendo en la catástrofe 51,000 espectadores. Noticias también se tienen del que se levantó en Plasencia que se suponía ser el más espacioso de Italia, que tuvo un fin desastroso pues fué reducido á cenizas durante la guerra entre Vitelio y Otón.

Los funestos accidentes y desastres sin cuento, fué causa bastante para que sustituyeran á los edificios de madera los formados por material pétreo y así poder ofrecer al pueblo todas las seguridades apetecibles. Semejante suerte estuvo reservada á Vespasiano y á Tito. El primero lo empezó á construir en su octavo consulado mientras que el segundo lo concluyó durante su reinado. Se calcula que con las sumas invertidas para la construcción del anfiteatro Flavio podríase haber levantado una ciudad entera y en efecto es edificio que se considera como el más famoso que nos ha legado la antigüedad, Dione dice, que en las primeras fiestas que se dieron para la inauguración de semejante monumento, perecieron en la arena 9,000 fieras, aunque Eutropio rebaja este número á 5,000; en cuanto al número de seres humanos que allí sucumbieron la historia no indica nada quizá para correr un velo que la vergüenza exige antes de mentar tanta ferocidad. Cuando las circunstancias convenían se llenaba el espacio ocupado por la arena, de gran cantidad de agua simulando el mar y entonces se verificaban luchas de fieras marinas, así como también se trababan combates navales.

En el sitio que hoy ocupa la gran mole, estaba ocupado anteriormente por el soberbio estanque rodeado por los gran-

des y fantásticos jardines neronianos y frente á semejante sitio se erguía una estátua colosal representando á Nerón con los atributos de Apolo.

Todas aquellas maravillas y portentos que había allí acumulado el opresor del género humano vino un día que desaparecieron como por encanto así como también arrancada de cuajo la estátua del coloso, todo en odio que aun alimentaba Vespasiano contra el hijo de Agrippina, levantándose sobre sus ruinas el famoso anfiteatro; pero en su venganza no pudo alcanzar que se borrara ni el nombre ni el recuerdo de la apolinea estátua de Nerón; y este nombre aunque algo alterado ha proseguido dando el sello de la grandiosidad de la nueva obra; el Coliseo, esto es, del colosal monumento, como colosal era la estátua del déspota y cruel emperador; como si el destino se complaciera á la vez que dejando un estigma en las páginas de la historia sobre la memoria de aquel gran tirano dejara por otra parte recuerdos gloriosos de su potencia en los grandes trabajos y maravillas que había llevado á cabo al surgir de su mente loca y calenturienta, deseos y voluntades, que nadie osaba contrariar haciendo tangible la máxima resolutiva de *querer es poder*. Acorde Tito en un todo con las ideas y proyectos de Vespasiano dió completa y feliz terminación á la obra empezada por éste. Tito á quién la adulación universal llamó delicia del género humano; á pesar de haber incendiado á Jerusalén y hecho morir entre los escombros á millón y medio de judíos y destinar el resto unos á degollarse como á gladiadores y otros á que le sirvieran de ostentoso trofeo al desfilar en serie interminable en su entrada triunfal de vencedor á lo largo de la vía Sacra recibiendo las ovaciones y el entusiasmo delirante de todo el pueblo; Tito, que convirtió todos estos prisioneros judíos en millares de trabajadores que á la fuerza debían trabajar con gran actividad elevando con rapidez una sobre otra las moles del anfiteatro á fuerza de tener las espaldas amoratadas por el látigo romano y que para luego que este trabajo fuera concluido servir de sanguinario espectáculo á un pueblo ávido de sensaciones feroces, por reservárseles que concluyeran su miserable existencia entre las quijadas de las fieras hambrientas. Tito con estos antecedentes mereció ser delicia del género humano al mismo tiempo que concluía con brevedad una obra colosal en tiempo relativamente muy corto; escasamente tres años.

Afecta este gran edificio visto por la parte exterior la forma de un cilindro vertical de planta elíptica cuyos ejes de la elipse miden respectivamente 187'77 metros el mayor y 155'638 metros el menor, alcanzando en su total altura 49'52 metros. Compónese de cuatro cuerpos sobrepuestos. En el primero está abierto por 80 arcos circulares que sirven de otras tantas puertas y á cada lado de uno de estos arcos columnas empotradas en el muro como dando más fortaleza á éste llenando así algún tanto el paramento del muro ó pilar que divide ambas aberturas, pues de no haber introducido este detalle quedarían fríos y desaliñados dichos pilares comparándolos con la serie interminable de rompimientos. Estas columnas obedecen á las leyes que rigen el orden dórico que se distingue por su severidad á la par que representación de fuerza. Encima de este cuerpo corre en toda su periferie un cornisamento. Sigue el segundo cuerpo con otras ochenta aberturas circulares, acompañadas con antepechos cada una en medio de otras dos columnas también adosadas y pertenecientes al ligero y gracioso orden jónico. Remata en otro cornisamento y sigue en pos de él, el tercer cuerpo, otros ochenta arcos circulares y antepechos como en el anterior. Como en este también destácanse una serie de columnas empotradas una á cada uno de los lados de los respectivos arcos, pero estas columnas pertenecen ya á un orden si cabe más ligero que el anterior pues pertenecen al florido y rico orden corintio. Corónase este cuerpo por otro cornisamento el que sirve finalmente de apoyo al cuarto cuerpo que lo forma un esbelto y hermoso ático adornado con una serie de pilastras corintias como distrayendo la aridez que sin ellas produciría el ancho cuerpo cilíndrico. Estas pilastras apoyan finalmente el remate general y entre ellas se descubren una serie de ventanas de forma rectangular corriendo encima de estas últimas una línea de ménsulas ó canecillos cuyo objeto no era otro que dar apoyo á los palos ó postes verticales de diez metros de altura que habían á su

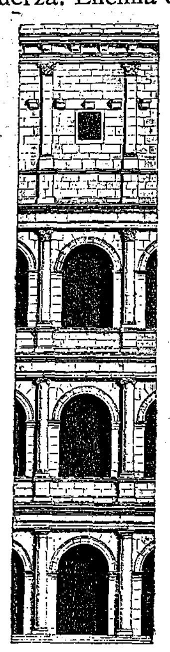


Fig. 47.
Anfiteatro. Flavio.

vez de afianzar el *velarium*. Todo lo que alcanza la construcción en el ancho del ánulo, esto es, desde la parte exterior de la fachada hasta la línea del círculo que constituye la arena es de 51 metros.

Bajo la arena había muchas construcciones con bóvedas; designados estos sitios á reunir los gladiadores antes del combate y el encierro de fieras é infelices condenados para ser pasto de las mismas (Fig. 48). Las bóvedas servían también para el uso de la maquinaria teatral llamada **pegmata** por Marcial. Según Stacio y Travelio Polión llevaba también el nombre de **cávea** el conjunto de estas bóvedas subterráneas.

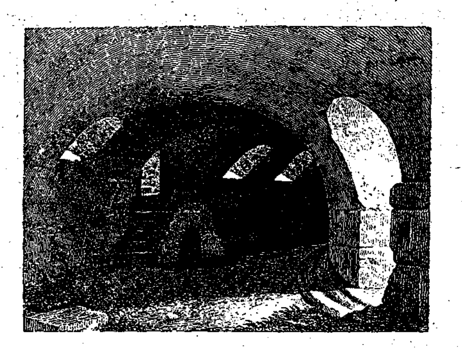


Fig. 48.—Cávea. Bóvedas subterráneas del Coliseo.

Este monumento es fiel trasunto y resplandece cual ninguno las ideas y el carácter de la arquitectura romana.

La gracia, la belleza griega; se ha reemplazado aquí por la grandeza, grandeza colosal. En este monumento se vé el pueblo dominador, el pueblo fuerte, el pueblo que cuenta ejércitos de esclavos, ejércitos de trabajadores, no es pues la arquitectura romana aquella que sobresale por su belleza ática difundida en los monumentos de Atenas y Corinto, pero en cambio flota sobre sus monumentos algo menos bello pero más grandioso.

En el Coliseo se reasume en su conjunto todo el carácter de la arquitectura romana. En esta gran ruína que ha llegado hasta nosotros salvándose y defendiéndose de la injuria de los siglos y de la rapacidad de los hombres es en donde se puede estudiar con más fruto la arquitectura de este pueblo mejor que no lo haríamos acudiendo á las páginas de Vitruvio cuyo contexto puede darse el caso de ser algún tanto alterado al pasar por el crisol de las correcciones, comentarios,

y traducciones de tantos eruditos como se han sucedido desde aquella fecha hacia acá

En efecto. esta prodigalidad de arcuaciones que constituye el carácter especial que informa y de que dimana el nuevo género de construcción, arco que no construyeron los helenos.

Esta base en donde descansa la columna dórica y que en Grecia no se usaba tal como si el fuste fuese un simple tronco de árbol arrancando directamente el suelo.

Estas bóvedas en cañón seguido, en bajada, anulares así como combinación de las mismas produciendo las de arista, lunetos variados; todas ellas completamente desconocidas y que aquí dan idea del nuevo sistema de construcción aplicado en sus distintas ramas en este monumento á la par que reflejan la potencia de los innovadores.

Los tres órdenes que el artista griego conserva siempre separados como si temiera que su combinación desvirtuara las leyes y armonía con que cada una de ellos se rige y luego viene el romano y los superpone combinados pero no al azar ni de cualquier manera sino con parsimonia y orden ascendente empezando por el más sóbrio y robusto, siguiendo enseguida los más esbeltos y ligeros. Todas estas propiedades hacen que si bién con algunas analogías la arquitectura de estos dos pueblos, se diferencia de una manera radical por las distintas impresiones que causa en el espectador.

El griego cautiva con su belleza, su gracia, sus perfectas proporciones pareciendo salir sus obras de manos divinas fuera del alcance de los mortales. El romano impone, subyuga y alucina hasta el punto por sus masas colosales y grandiosidad total de creerlas venidas de manos de gigantes.

Los cortes de cantería, aquí en este caso y por lo que se refiere á los aparejos que son suceptibles á emplearse en los muros, ha llegado ya á un grado tal que no ha sido excedido ni aventajado en lo sucesivo, llegando sus prácticas hasta nuestros días y empleándolo bajo el mismo orden de corte. Los arcos acompañados de sus arquivoltas ya no se encuentran independientes del muro, sino que forman parte de él y esto de modo tal, que la dovela viene á enlazarse con la hilada de dicho muro en la parte que le corresponde. Esto lleva consigo que las dovelas sean pentagonales y que el dibujar el plantillaje de juntas éstas lleven consigo el perfil de la moldura constituyendo la arquivolta. Nótase la acertada

combinación de los capiteles con los sillares del muro en donde va empotrado, procurando para su mejor consistencia y enlace que la pieza total se componga del citado capitel y de dos ramas laterales que van á alojarse y formar parte de las hiladas del muro haciendo para la mejor y cuidadosa disposicion; y cuando las circunstancias lo permitan, conducir las juntas de lecho al ras del collarino del capitel.

Digno es también de observar la regularidad que existe en la separación de las juntas verticales y muy especiálmente en las cornisas y fajas corridas y obtener piezas iguales en cada zona ó anillo donde están colocadas. División de juntas perfectamente estudiadas al hacerlas pasar por líneas divisorias de arquitraves, frisos y cornisas y finalmente un labrado muy prolijo y entendido de los paramentos dándonos completa idea de que en aquella época se conocía ya el sistema de generación de las superficies cilíndrica recta pues con su auxilio se pudo llegar á la labra tan comprendida como resulta de los sillares que forman parte de la fachada.

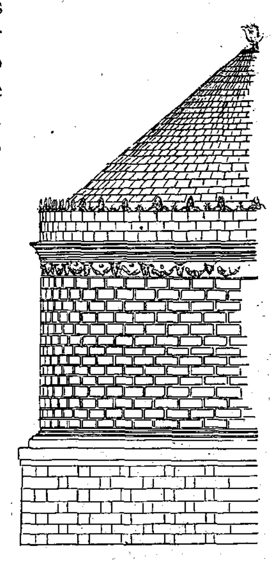


Fig. 49.
Sepulcro de Cecilia Mettela.

55. Este muro cilíndrico ofrece la particularidad de estar interrumpido por un sinnúmero de aberturas pero pudiéramos escoger otro que formara cilindro contínuo como por ejemplo el sepulcro de *Cecilia Mettela* (Fig. 49) pero aquí la sillería obra como á revestimento de un macizo de mampostería que forma el núcleo de la construcción.

Los sillares alternando en sus diferencias de gruesos al objeto de efectuar mejor el enlace con la obra interior. Ofrece el despiezo del tambor cilíndrico un ejemplo de almohadillado así como el zócalo prismático y en forma de paralelipípedo lleva el despiezo en disposición diatónica. Coronaba el monumento una cubierta en forma de cono recto por la parte exterior siendo construído este cono por un simple revesti-

mento no doveladas las piezas pues que se sustentaban por simples planos horizontales formando ángulos agudos con la superficie de paramento. Nos indica pues este ejemplo el conocimiento que en aquella época se tenía de la índole de las superficies cónicas al tener necesidad de labrar los paramentos de las piezas que afectaban aquellas formas.

56. Un ejemplo muy curioso de bóveda por arista entrante y que más tarde se había de conocer bajo el nombre de bóveda en rincón de claustro es la que nos ofrece la que cubre la parte central del *Pretorio de Mousmich* (en la Siria central). Edificio destinado al gobernador romano en la provincia de la Siria. Calcúlase ser de la época correspondiente á la mitad del segundo siglo de nuestra era. Construyóse este edificio mandando los emperadores Marco Aurelio y Lucio Verus con el objeto de tener un centro de acción para subyugar prontamente á los revoltosos de la Siria. Este edificio (Figura 50) construído bajo la forma de las basílicas romanas fué dirigido por Egnatius Fuscus que á las vez que perito en el arte de edificar era centurión de la tercera legión gálica.

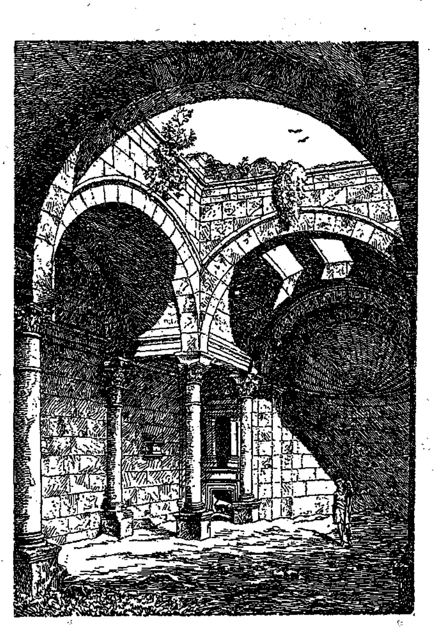


Fig. 50.—Pretorio de Mousmich.

Estaba dividida la construcción en tres naves formadas por ocho arcos pareados que descansaban sobre columnas; siendo cubierto el cuadrado central por una bóveda en rincón de claustro apoyada sobre cuatro muros que á su vez están sos-

tenidos sobre cuatro de los mentados arcos. La bóveda está construída de mampostería y las galerías que la circundan formando cañones seguidos están cubiertas por grandes lajas de piedra apoyándose sobre los correspondientes arcos. Aparece también un nicho esférico en el fondo, cual si fuera el ábside de una basílica.

57. Si de los distintos ejemplos que hemos pasado en revista en el período de la arquitectura romana reasumimos, resultará que con el nuevo elemento adoptado, cual era el arco circular difundido con prodigalidad, veremos que nacieron nuevas formas y disposiciones que satisfacer debían las exigencias de los datos; aparecieron pues con su auxilio y esto de una manera franca y espontánea, una serie de bóvedas hasta entonces no conocidas unas construídas con piedra dovelada, aunque pocas como por ejemplo los cañones seguidos (cloaca máxima arcos de triunfo, etc.,) sin dovelar, bóvedas por arista (alguna de las galerías interiores del coliseo;) otras de ladrillo combinado con mampostería, como la bóveda esférica (la del panteón de Agrippa, la de la sala de los baños conocidos por templo de Minerva médica, la de las termas de Caracalla y las de Diocleciano en Roma; las de los templos de Mercurio, de Diana, de Apolo y de Venus próximas á Pouzzol,) todas estas cúpulas descansando sobre muros cilíndricos de más ó menos espesor y elevación; bóvedas por arista (la que cubre la sala del Tepidarium en las termas de Caracalla) bajadas (el Coliseo,) lunetos (galerías subterráneas del Coliseo).

El dovelaje en su mejor estructura llevado ya con todas las reglas del arte aparece en los arcos en sus distintas combinaciones ya empleando las dovelas sencillas, ya pentagonales ya también en forma de montacaballo, como lo manifiesta uno de los pasajes interiores del coliseo y otros ejemplos que podrían citarse.

58. **Bizancio.**—El estilo nacido en Bizancio, lleva consigo un selló característico que lo distingue de todos los demás estilos, resolviendo al mismo tiempo un nuevo problema de construcción cual era el empleo de una bóveda esférica para cubrir un espacio de forma cuadrada y si bien es verdad que ya en Roma en las termas de Diocleciano y ya también en un pequeño monumento funerario elevado por Gala Placidia

en Rávena se inició dicho problema, no fué llevado sin embargo ni por la importancia de sus dimensiones con que se realizó ni por la estructura general de la construcción al grado de desarrollo que tuvo en Constantinopla en donde la totalidad de la bóveda esférica se elevaba sustentándose de una manera franca y atrevida sobre los cuatro arcos torales no sin que estos hubiesen cercenado antes cuatro partes de la primera esfera quedando de ella solamente las pechinas.

Bajo este punto de vista solamente es que nos fijamos en esta nueva faz que sobrevino á la arquitectura para que de ella nos haga conocer la época en que apareció semejante bóveda atención hecha estrictamente á su disposición toda vez que no siendo construída de piedra no nos incumbiría para con respecto á lo que se refiere á la Estereotomía.

59. El emperador romano Constantino I el Grande, abrazó la religión cristiana en el año 311 y dueño absoluto de todo el mundo romano determinó trasladar la sede del imperio desde Roma á Bizancio, dando su nombre á la nueva capital proponiéndose que la nueva ciudad pudiera en magnitud y magnificencia competir con la misma Roma. Bajo tales auspicios dióse principio á la construcción de la nueva metrópoli desarrollándose los trabajos de una manera prodigiosa y febril, poniendo á contribución para enriquecer y acelerar la edificación de los principales monumentos los innumerables objetos y ricos detalles salidos de otros distintos monumentos de cuyos fueron despojados ya en Grecia ya acudiendo á todo el Oriente ya también buscándolos en la misma Roma, levantándose de este modo y como por encanto una porción de famosos edificios como Termas, Teatros, Arcos de triunfo, Basílicas, Iglesias, etc., etc., sin embargo los edificios religiosos fueron los que merecieron una atención especial.

Sancionadas y reconocidas oficialmente por Constantino las nuevas doctrinas religiosas que sin cesar iban propagándose con excelente resultado, fué uno de sus primeros cuidados el dotar á la religión cristiana con edificios para que dignamente fuera representada y que pudieran prestar el servicio á las nuevas necesidades del culto.

La arquitectura cristiana oriental á la cual se ha dado el nombre de Bizantina se desarrolló de una manera distinta de la de Occidente; apesar de que los principios elementales de ambas no ofrecen gran diferencia. La de Occidente

conservó su sencillez y severidad mientras que la oriental desplegó en su composición nuevas formas, más riqueza y esplendidez y un sistema de construcción más atrevida.

No hay duda ninguna que en Roma se encuentra el punto de partida de esta arquitectura que había de tomar rápido vuelo hasta el extremo de competir con la romana. Da una prueba de ello los edificios circulares como el templo de Vesta, Panteón de Agrippa, varias salas de las termas los Mausoleos de Augusto y de Adriano y de Cecilia Mettela. Los cristianos habían también adoptado esta disposición para sus tumbas pues cerca de Roma existen los restos del que mandó construir Santa. Elena y ésta misma fué la que mandó levantar en esta disposición la iglesia del Santo Sepulcro de Jerusalén.

De formas circulares y octogonales eran los Baptisterios que se edificaron aislados y próximos á las basílicas siendo uno de los más antiguos el que por disposición de Constantino se edificó próximo á San Juan de Letran.

Una de las primeras obras que emprendió Constantino fué la edificación de una iglesia dedicada á la sabiduría, á Santa Sofía, cuya iglesia fué reconstruída por Constancio, incendiada dos veces, restablecida en 415 por Teodosio, reducida cenizas en 532, reconstruída definitivamente por Justiniano declarando antes que se iba á edificar el monumento más grandioso y magnífico de todos los que hasta entonces se habían levantado. Llamó al efecto á dos de los arquitectos más célebres que se conocían en aquel entonces cuales eran los griegos Anthemius de Tralles é Isidoro de Mileto, el primero de mucha fama por estar versado en los principales problemas mecánicos originados por el contrarresto de fuerzas en la construcción. Tomáronse las precauciones más minuciosas para realizar la gran cúpula, que en aquella época constituía un *tour de forçe* de la arquitectura, y al efecto se encargó á los arquitectos que estudiaran el proyecto en disposición y estructura tal para evitar los incendios que hasta aquel entonces habían sido frecuentes en los demás edificios (por lo que se infiere serían de madera ó de material propenso á la combustión).

De todas maneras no resultó convenirle al nuevo estilo la forma de Basílica para emplearla en sus edificios religiosos; intentando buscar una disposición distinta dependiente de la nueva forma que adoptó para la planta de la Iglesia, forma

que si no tan razonada y sencilla como la de las Basílicas romanas, puede pero considerarse como cumpliendo con las nuevas ideas impuestas siendo ella el rasgo característico y propio del nuevo estilo.

Los edificios del verdadero estilo Bizantino puede decirse datan de la época de Justiniano época en la cual se construyó la iglesia de Santa Sofía en donde se abandonaron las prácticas tradicionales para la forma adoptada en los países cristianos y recintos sagrados. Aquellas elegantes rotondas coronadas por cúpulas llevadas al mayor grado de perfección durante los mejores tiempos de la época romana fueron casi abandonadas por los constructores de las primeras Basílicas sea quizá por las dificultades que encontrarían dentro de su práctica sea también porque no vieran en su uso una forzosa necesidad. Pero cuando se quiso que la cúpula, se considerase como símbolo de la bóveda celeste debiendo por precisión cobijar el mismo sitio donde debía colocarse el *santuario*, llamado en griego ἁγίατράπεζα, entonces sobrevino la necesidad imperiosa de cambiar la disposición basilical de la iglesia, haciendo que la cúpula se elevara en forma gigantesca permitiendo ver con facilidad todas las demás partes del monumento como si sujetas debieran estar á ella. Esto fué tanto más conveniente en cuanto Justiniano aumentó de una manera considerable el número de sacerdotes así como la ostentación y pompas religiosas queriendo que en los días solemnes el santuario estuviera rodeado de 525 individuos, diáconos, cantores y sacerdotes de toda clase de jerarquías. Las tribunas laterales de este gran centro estaban reservadas á los fieles de ambos sexos dispuestos separadamente conforme exigía la disciplina eclesiástica de Oriente. Semejante nueva disposición del santuario se adoptó como á norma y modelo á casi todas las iglesias cristianas y griegas que se edificaron en Oriente en los posteriores siglos, señalando con esto la notable diferencia que separa por su carácter disposición y estilo entre los edificios religiosos anteriores, esto es entre el romano cristiano y el bizantino ó neogriego.

60. Era natural que imponiendo la condición de colocar el Santuario en el centro de la iglesia para que pudiera quedar rodeado por todos los fieles y deseando también que estuviera bajo el sólio de una sola y gran cúpula, venía con esto impuesta la condición de quedar inscrito en una cruz de

brazos iguales, ó bien en un cuadrado. He aquí pues como se dedujeron los dos sistemas de iconografía con que se desarrollaron y son comunes á las iglesias griegas, esto es la cruz griega y el cuadrado.

La Iglesia de Santa Sofía obedece á la primera de dichas disposiciones y ha venido á constituir un típico modelo á que se adaptaron las construcciones de las Iglesias en el imperio griego durante el período de la edad media.

La cúpula de Santa Sofía es una semiesfera que descansa directamente sobre cuatro arcos torales levantados en los cuatro lados del cuadrado resultado del cruce de las dos galerías que forman la cruz griega. Resulta con esto que quedan en los ángulos espacios triangulares curvilineos comprendidos entre los arcos torales y el círculo horizontal inferior de la esfera

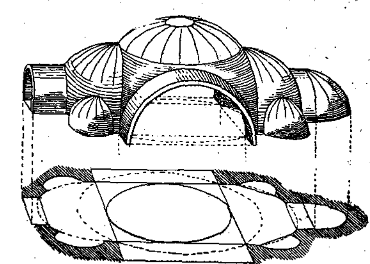


Fig. 51.—Bóvedas de Santa Sofía en Constantinopla.

Estas partes triangulares son las pechinas y forman parte de una superficie esférica cuyo ecuador es la circunferencia circunscrita al cuadrado antedicho. Concibiendo pues esta primera esfera así como su cuadrado inscrito é imaginando luego cuatro planos verticales que se levantan sobre los lados de dicho cuadrado, estos planos cortarán á la esfera según cuatro círculos mínimos que serán precisamente las directrices de los torales formándose así las pechinas antes indicadas cuales serán los restos de la esfera que han permanecido comprendidos entre dichos torales y la circunferencia horizontal tangente en los puntos culminantes de estos arcos de refuerzo; se prescinde luego del casquete esférico que ha quedado en la parte superior sustituyéndose por una nueva esfera cuyo ecuador se confunda con la circunferencia horizontal con que terminan las pechinas la cual es tangente á los torales y así tendremos terminada la cúpula en cuestión. Solo faltará adicionarle las construcciones adyacentes para el contrarresto de los empujes (Fig. 51). Este contrarresto lo constituyen una serie de obras intermedias entre el cuadrado interior y otro concéntrico exterior resultando de aquí la cruz

griega. En el sentido del eje longitudinal se dispusieron dos grandes bóvedas en nicho esférico en forma de medias cúpulas que partían de los arcos torales y habían de estar sostenidas por dos muros cilíndricos los cuales se abrieron en su parte media con una arcada central y dos nichos laterales apoyados á su vez en dos órdenes de columnas ó arcos. En cuanto al eje trasversal está ocupado en sus brazos por bóvedas de arista, con dos órdenes de galerías abiertas sobre el muro de cerramiento de cada cara lateral.

Vemos pues que con esta ingeniosa disposición y echando mano únicamente de bóvedas esféricas de distinto diámetro y colocadas convenientemente se consiguió ir destruyendo los empujes, conforme se hizo más tarde empleando los arcos de contrarresto en la arquitectura ojival. A disminuir el empuje tendió á que se estudiaran estos medios, siendo uno de sus principios aligerar la bóveda y al efecto se realizó el problema perforándola en todo su alrededor por una serie de ventanas seguidas que se dispusieron en su parte inferior dando con ellas más efecto á la cúpula, sobre todo en la parte esterior. Por la estructura de su construcción se llegó del mismo modo á aligerar la gran masa, construyéndola con una serie de ánforas de barro ó vasijas enchufadas entre sí.

Los arquitectos tuvieron en cuenta la manera especial de tratar la bóveda esférica atención hecha á las circunstancias que se presentaban sabiendo aprovechar hábilmente la diferencia de espesor entre la bóveda y los arcos que forman el cuadrado central. A este fin colocaron al pie de la cúpula una serie de pequeños contrafuertes que contribuyen eficazmente á la solidez de la obra.

Como los grandes nichos laterales de los hemiciclos así como las arcadas sobre los bajos lados hubiera podido darse el caso de que se trasmitieran los empujes en falso, se colocaron con tal habilidad unos y otras esto és hácia la dirección en que el movimiento tiende á producirse ya sea por las bóvedas de arista colocadas posteriormente y ya por fragmentos de bóveda formando arcos de contrarresto que se apoyan sobre columnas y pilastras aisladas estando así allanada la dificultad. Muros y bóvedas construídos de ladrillo, siendo solamente de piedra un zócalo que se extiende sobre todo el perímetro del monumento, los cuatro pilares de la cúpula y de una hilada colocada sobre los grandes arcos para servir de base á la cúpula central. El ancho de la gran

nave es de 33'35 metros, su longitud 81'30 metros, el ancho total 70'30 metros, la cúpula central tiene una luz de 32'60 metros, su altura desde el arranque 41'10 metros. Diez mil obreros estuvieron ocupados durante todo el tiempo que duró la construcción. Se colocó la primera piedra en el año 532 y la primera consagración del templo tuvo lugar el día 26 de Diciembre del año 537. Otra inauguración solemne fué la del año 559. Una parte de la cúpula central se abrió poco tiempo después de su construcción habiéndose restablecido inmediatamente y la nueva ceremonia tuvo lugar cuando todos los trabajos hubieron terminado. La historia ha dejado consignado que después de una fiesta en el hipódromo en la cual había asistido Justiniano á presenciar un gran combate de fieras para solemnizar la inauguración de Santa Sofía, concluído el espectáculo se dirigió al templo acompañado de gran séquito y ostentación y una vez colocado en el púlpito, satisfecho y admirado de su obra y en un arranque de entusiasmo exclamó "Gloria á Dios que me ha juzgado digno de llevar á cabo esta obra. Te he vencido Salomón".

61. Santa Sofía y San Sergio son los ejemplos más típicos y antiguos del estilo bizantino considerándolos como fuente y núcleo de esta especial arquitectura. Ambas son debidas á Justiniano.

Ya hacia el siglo V se hicieron algunas tentativas por los arquitectos bizantinos para adoptar la bóveda esférica en los templos cristianos, y aunque sus ensayos estaban llenos de reminiscencias de las construcciones romanas no dejaron algún tanto de preparar el terreno iniciando el problema que había de tener su resolución en Constantinopla. Prueba de ello es la iglesia de San Jorge en Tesalónica, copiando en más reducida escala el Panteón de Roma. Construída dicha iglesia de planta circular con gruesos muros, más comprendiendo que el empleo de tan gruesas paredes además de ser un obstáculo para las necesidades del culto ocupaban gran espacio así como invertían mucha cantidad de material se trató algún tanto de modificar su disposición, y al efecto se colocó la cúpula sobre una base poligonal separada por una galería formada con otro polígono concéntrico con el primero inscrito en las paredes del recinto, cuyo ejemplo nos lo dá (Fig. 52) la iglesia de Ezra, en Siria que data del año 510. Antiguamente había servido de Baptisterio y después se habilitó para iglesia.

El octógono central está cubierto por una cúpula. En el lado oriental del octógono se abre el ábside precedido de su espacio rectangular. En cada uno de los ángulos del cuadrado en donde está inscrito el octógono mayor existe un nicho esférico y hornacina cuyos paramentos coinciden con los lados del octógono.

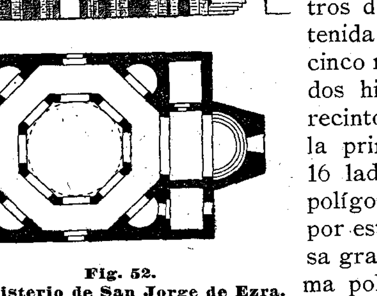


Fig. 52.
Baptisterio de San Jorge de Ezra.

La cúpula tiene 10 metros de diámetro, está sostenida por ocho pilares de cinco metros de altura; las dos hiladas superiores del recinto octogonal lo forma la primera un polígono de 16 lados y la segunda un polígono de 32, de modo que por esta combinación se pasa gradualmente de la forma poligonal á la circular de la cúpula que es de revolución y ovoidea, como trasunto de las aficiones á esta forma en el Asia central; excepción hecha de esta cúpula construída de obra mixta todo el resto del monumento está construído con piedra aparejada colocada sin ninguna clase de mortero. La parte interior del octógono recibe luz por una serie de pequeñas ventanas semicirculares colocadas en la base de la cúpula y una á cada lado del octógono. Se consigna precisamente este sistema de iluminación por ser en este caso el ejemplo más antiguo y que mejorado se desarrolló de una manera notable al recibir su sanción en el momento que se adoptó por los arquitectos Anthemio é Isidoro en la cúpula de Santa Sofía.

En cuanto al resto del edificio está cubierto con simples piezas de piedra sustentadas por los muros y arcos, cuya luz correspondiente de estas galerías se ha disminuído algún tanto con la colocación de cornisas bastante salientes en las partes laterales.

62. Pero si las cúpulas de Santa Sofía, de San Sergio y de San Jorge de Ezra y todas las de esta época están com-

puestas de obra mixta en cambio podemos señalar un raro y notable ejemplo de bóveda esférica con pechinas y arcos torales y construída de piedra con piezas doveladas; lo encontramos en la Iglesia de Jerusalén y en el sitio conocido por la doble puerta (Fig. 53).



Fig. 53.—Iglesia de Jerusalén. Bóvedas y Pechinas.

Muéstranos por cierto este raro y precioso ejemplo un progreso muy acentuado con relación á las prácticas y sistema de edificar las bóvedas en aquella época, todas ellas construídas de obra mixta de ladrillo y piedra enlazados con excelente mortero y aun que valiéndose en el trabajo y formación de sistemas elementales y empíricos pues las cimbras que habían de emplearse para dar forma á las bóvedas en lugar de ser de madera ó arcos de ladrillo cortados según las reglas del arte según las operaciones que con antelación se habían de deducir en el plano de montea, allí eran formadas por una masa compuesta de arcilla y arena, establecida burdamente al mismo tiempo que se elevaba la construcción y todo eso empíricamente. La época de este edificio es muy poco anterior á Santa Sofía.

La entrada se compone de dos puertas que se abren en un gran vestíbulo cubierto por cuatro bóvedas esféricas, apoyadas por ocho arcos torales los que cuatro de ellos insisten sobre una columna central.

63. La iglesia de San Vital en Ravenna es también uno de los mejores tipos que ha producido el arte bizantino. Fundada en el año 526 tiene la particularidad de ser su planta octogonal y ser la primera que levantada en Occidente desarrolla con más franqueza y verdad el carácter del estilo. Las muchas analogías y reminiscencias que ofrece comparándola á San Sergio de Constantinopla han dado margen á suponer que los arquitectos de esta construcción habían de

ser de aquella ciudad. El plano de la iglesia de San Vital (Fig. 54) es un octógono de 34 metros de diámetro interior, la nave es de 15 metros de diámetro pero sobre cada lado se abre un exedro formado por dos columnas que sostienen tres arcos de medio punto arrollados sobre el cilindro proyectante que se levanta sobre la planta del exedro. Cada una de las

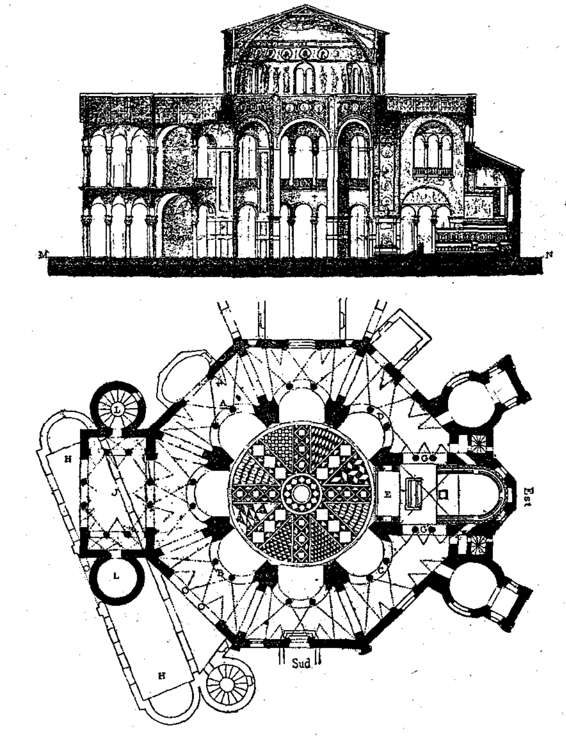


Fig. 54.—Planta de la Iglesia de San Vital en Rávena.

caras del octógono central está terminada por una gran arcada que afecta en su intradós y en siete de las caras del octógono la forma de nicho apoyado en los arcos sostenidos por las columnas del exedro; en cuanto al octavo lado del octógono situado hacia el Este está abierto en toda la altura de la arcada á fin de permitir la vista al ábside y al altar. Estas

arcadas sostienen directamente la cúpula esférica cuya base circular queda enlazada al octógono con una serie de pequeñas pechinas cuya disposición recuerda el Baptisterio que hemos visto en San Jorge de Ezra.

En la base de la cúpula hay ocho ventanas gemelas á la usanza bizantina iluminando lo alto de la parte central. Los detalles de construcción dejan ver claramente la influencia romana; la cúpula está construída por medio de anforas ó vasijas de barro combinadas con mortero. En la antigüedad se habían dado ejemplos de este medio singular de comunicar ligereza á las bóvedas, y así se ve en Roma en las del templo de Minerva médica, del circo de Magencio, etc., etc. En estos edificios las vasijas están sumergidas en la argamasa, y los arquitectos de San Vital dieron más desarrollo á este ingenioso sistema de construcción. Desde el gran círculo horizontal que constituye la base de la bóveda hasta las clarabo-yas que hay encima de las ventanas forma la parte curva unos vasos grandes de tierra cocida (Fig. 55) colocados verticalmente y que tienen la misma forma que las anforas de que se servían los romanos para guardar el vino; y como la parte inferior y puntiaguda de estas vasijas entra en el cuello de la que está inmediatamente debajo, resulta una unión perfecta entre ellas.

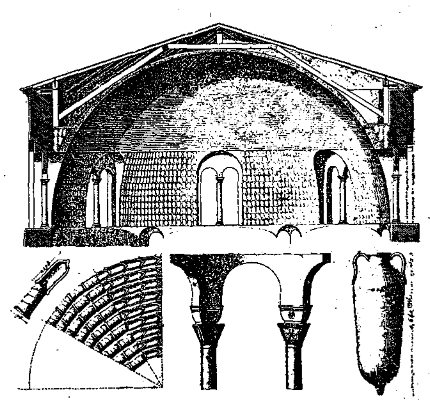


Fig. 55.—Anforas de San Vital.

Pero encima de las ventanas se modifica ya el sistema; los vasos son mucho menores, tienen la forma de un cilindro abierto por una de sus extremidades y cerrado en el extremo opuesto por una punta como las anforas. Encajadas las vasijas unas en otras, toman una posición horizontal y forman una espiral continua cuyos círculos suben hasta la cima de la bóveda.

Esta iglesia es digna de llamar la atención por contener el

primer ejemplo que se presenta en el arte de construir de una bóveda anular compuesta de otras por arista comprendidas una á una entre arcos torales, cuya bóveda anular es la que cubre la galería comprendida entre los dos octógonos.

Finalmente en medio de tantos otros ejemplos como se podrían citar de edificios religiosos que fueron sucediéndose en pos de Santa Sofía merece citarse el tan renombrado San Márcos de Venecia en Italia durante el siglo XI como lo es en Francia San Frontino de Perigeux y en España indican haber alcanzado algún tanto este género arquitectónico las renombradas cúpulas de la Catedral de Zamora, de la vieja de Salamanca y de la Colegiata de Toro.

64. Románico.—Cuando se trasladó la silla del Imperio á Bizancio, la arquitectura en Roma había entrado ya en un período de decadencia y si bien se construía alguno que otro edificio de alguna importancia por orden de los emperadores, bien se traducía que el gusto de los artistas había degenerado á fuerza de alterar sin razón ni motivo, las proporciones admitidas en los estilos clásicos, abusando por otra parte de ornamentaciones exageradas llevadas solo por el puro capricho; esto es sin objeto ni necesidad, y hasta llegando al extremo de acudir á los edificios antiguos como si fueran depósitos generales de miembros arquitectónicos, despojándoles de las partes más principales para venir á adaptarlas á las nuevas construcciones. Así se amalgamaban con otras de distinta procedencia resultando con esto conjuntos incoherentes, faltos de unidad, expresión y belleza, todo con el afán de sobresalir á fuerza de buscar complicaciones, toda vez que el secreto de la sencillez y elegancia en las proporciones había caido en olvido.

Circustancias especiales contribuyeron por otra parte que sufriera algún retraso el progreso sucesivo del arte arquitectónico, pues con las irrupciones de los llamados bárbaros por la Historia, y con la confusión y revueltas que traen consigo los azares de la guerra, se comprende no habían de ser muy apropósito aquellos tiempos para que se desarrollaran las artes liberales, cuales están en su centro y se desarrollan lozanas al benéfico calor de la paz y prosperidad.

Sin embargo entre todas estas construcciones hubo de ellas una cierta agrupación que perseveró en su sencillez, hija por otra parte de las condiciones mismas y medios con

que lentamente iba avanzando: eran los edificios dedicados al culto cristiano.

No persiguiéndose ya á los cristianos como en épocas anteriores que se veían obligados á reunirse en sitios lóbregos, subterráneos y escondidos como en viles madrigueras, sino antes al contrario, su religión no solo permitida sino que también triunfante, adoptada como á oficial del Estado, tuvieron ya de momento necesidad de contar con locales apropósito para el ejercicio de sus deberes cristianos; y claro está que estos edificios no era dable improvisarlos al querer echar mano de nuevas construcciones adecuadas al nuevo rito.

Así es que á la fuerza de las circunstancias debióse se acomodaran para iglesias algunos edificios del paganismo como fueron entre ellos las Termas y Basílicas, no sin que antes las adornaran sencillamente imprimiéndolas en todo lo posible que les fuera dable, el sello de la nueva religión. Los primeros arquitectos cristianos continuaron por bastante tiempo las mismas disposiciones de los edificios del paganismo convertidos en iglesias cristianas imitando las formas á que estaban acostumbrados empleando para ello el mismo género de materiales y medios de construcción que les eran familiares á expensas de prácticas tradicionales.

El arte cristiano primitivo según esto no fué; no constituyó, un nuevo arte propiamente dicho pues siendo la prosecución del romano aunque con algunas modificaciones hijas de las nuevas creencias y del estado de cosas que se atravesaba en aquella época fué apesar de todo cundiendo hasta el siglo X, adquiriendo sin embargo dentro de su sencillez y simplicidad un cariz especial que mereció en lo futuro se le bautizara con el nombre de estilo Latino ó Cristiano, y vino á ser como el declinar del arte antiguo y la aurora del arte nuevo.

Se comprende que los comienzos de este último se inicían á medida que va extinguiéndose el carácter peculiar del estilo romano pues mientras éste va palideciendo en sus reflejos, en cambio toma cuerpo centelleando más y más el espíritu que ha de informar el nuevo estilo que sin cesar va preparándose á medida que son más frecuentes las relaciones con los demás pueblos vecinos de la Europa Occidental y ésta á su vez les trasmite los fecundantes gérmenes con las grandes tradiciones de los monumentos de la antigüedad; llegando á

fusionarse el estilo nacido en Bizancio con el desarrollado en las orillas del Tíber. Este mismo estilo adquiere dentro de su nuevo género, distintas variantes dependientes cada una de ellas del carácter y clima en donde echa raices viniendo á ser conocido por distintos nombres en cada localidad, así en Italia era el estilo Lombardo, en Francia el Normando y también Carlovingio, Sajón en Inglaterra, en Alemania Teutónico y en España con el de Asturiano y Gallego, por las provincias de donde se ha creido que naciera. Hoy es generalmente conocido con el nombre general de Románico como derivado inmediatamente del romano. También se le llama por algunos según sus distintas variaciones y partes predominantes; por esto es conocido con los nombres de latino-bizantino, romano-bizantino, gótico-bizantino.

Siendo pues el románico una fusión del romano y bizantino y en el cual pueden las dos componentes variar algún tanto excediendo la una á otra, fué lógico que los constructores románicos imitaran en sus obras á los romanos y bizantinos como éstos habían seguido á su vez las tradiciones monumentales legadas por sus antecesores.

Bajo el punto de vista de construcción el principal carácter distintivo de la arquitectura románica es la bóveda.

Hemos visto que los romanos conocían la bóveda empleándola bajo tres formas distintas, el cañón seguido, la de arista y la esférica.

Las basílicas romanas estaban cubiertas por techumbres de madera.

Las primeras basílicas cristianas edificadas á la romana, fueron un remedo de esta disposición pero, el distintivo entre las dos arquitecturas y el punto de partida de las diferencias que las separan se manifiesta de una manera visible por la aplicación de la bóveda.

Las iglesias románicas están abovedadas, pero estas bóvedas son de distinta estructura y forma según la época que se realizaron y el sitio en donde se dispusieron.

65. Las bóvedas ejerciendo un esfuerzo pronunciado y continuo sobre los muros laterales ó pies derechos, á los cuales tiende á derribar hace preciso el aumento de su grueso para que los empujes queden convenientemente neutralizados. Disminuir el ancho ó luz de los compartimentos con el fin de coadyuvar á la resistencia contra estas fuerzas da

por resultado hacer pesado el conjunto por su mucha masa, así como el reducir los rompimientos ó los vanos aumentando en su lugar los apoyos da por inconveniente la disminución de la cantidad de luz en el recinto. Al contrario sucede con la basílica romana, pues ésta hallándose cubierta con la techumbre de madera tanto en la nave central como en las laterales, no ejerce ninguna acción nociva que tienda al empuje de los pies derechos ó machones pudiendo en este caso ser más esbeltos, más separados uno de otro y como consecuencia permitir la entrada á un haz de luz más considerable. Los muros laterales formados de columnas y arcadas, no teniendo aquí otra misión, que soportar la simple carga del techo que obra por sencilla presión vertical, pueden ser más altos, esbeltos y elegantes.

Preciso era pues escoger entre estas dos necesidades apremiantes: ó conservar la forma basilical ó modificarla, sinó en su planta, cuando menos en sus detalles de construcción para que fuera asequible el empleo de la bóveda, y ésta verdaderamente se imponía en razón de los frecuentes incendios que se habían sucedido por la naturaleza leñosa de los techos y aquí era una condición *sine qua non* el defender de tales desastres al altar cristiano y á las santas reliquias guardadas en tales edificios sagrados.

Así es que por la necesidad de emplear la bóveda sacrificaron todas las proporciones clásicas, engrosando los muros, reduciendo los vanos y los anchos de las salas y galerías ó espacios que habían de cubrirse; en una palabra sacrificando los vacíos á expensas de los llenos ó macizos. Sin embargo hubo un momento que la desproporción entre huecos y macizos hubo de llamarles la atención y fué cuando se resintieron de ello las condiciones acústicas del edificio, disminuyendo notablemente la iluminación, dificultando á la vez el paso por resultar una cabida relativamente pequeña á la construcción empleada.

Tratáronse de solventar estas dificultades estudiando disposiciones nuevas, se fijaron de un modo principal á la construcción de las bóvedas relacionadas á las proporciones y estructuras más convenientes de los huecos y macizos para que pudieran desaparecer los anteriores inconvenientes, cuales eran de un modo particular el excesivo empuje de la total masa en forma de bóveda descomponiéndola al efecto en dos partes que podrían llamarse activas y pasivas, las primeras

debían ser las únicas que trasmitirían los empujes y las segundas sentadas sobre las primeras haciéndoles el simple empleo de cubierta pero sin trabajar por sí mismas, resultando con esto salvada la dificultad por ser ya con esta disposición un número limitado de puntos del muro que necesitaban el aumento de grueso para contrarrestar el aparejo; así se introdujeron los arcos torales, los fajones, los arcos aristones, los arcos de contrarresto y los muros también de contrarresto. Todo esto significaba ya un adelanto notorio en el arte de construir, pero adelanto especial que marcaba ya una nueva era en el modo de resolver los problemas de esta clase, en los cuales no solo se necesitaba una clara experiencia sino que también dominar la combinación y contrarresto de fuerzas basado todo en cálculos matemáticos de cuyos habían de estar versados los arquitectos de aquella época, aparecieron pues estos hombres de ciencia y en su mayor parte salieron de los monasterios y en especial los de las órdenes de San Benito. Merece especial mención del modo como esta orden tuvo una parte tan activa en las construcciones de aquella época, siendo sus miembros las eminencias más distinguidas en todos los ramos que florecieron en el período de que se trata.

66. En los primeros siglos del cristianismo, hubo de pasar la sociedad por épocas borrascosas, de guerras y desdichas sin cuento como á consecuencia del gran sacudimiento que recibió al variar radicalmente su modo de ser y claro es que un cambio de tanta monta, ya en religión, costumbres y deberes no se realiza de momento sin que surjan durante el tiempo de su metamórfosis toda clase de dificultades y desórdenes.

Muchos cristianos y personas piadosas dadas á la devoción y vida contemplativa no pudiendo lograr su objeto permaneciendo dentro de los grandes centros, nos cuenta la historia, se retiraron en sitios solitarios exentos del bullicio y algaradas que podían interrumpir sus preces, y allí al principio muy pocos en número y escasos elementos de subsistencia, siendo sus habitaciones la choza, cavernas, espacios entre ruinas ó techos improvisados, alimentándose del producto que les podía suministrar la tierra por ellos laborada para subvenir á su necesaria subsistencia. Pero andando el tiempo el número fué aumentando, las viviendas mejoraron, pues los recintos subterráneos, las habitaciones de palo y hojarasca

así como los cercados, compuestos por informes piedras aprovechadas por doquier se convirtieron en edificios en regla, de sólida construcción y dispuestos con las exigencias que imponían las necesidades de su especial uso.

Llegaron á establecer reglas para el buen orden y régimen dependiendo ellas de cada especial agrupación, sobresaliendo entre las mismas la que en el siglo VI dió San Benito en monte Cassino difundiéndose muy en breve por los ámbitos de todo el Occidente (*). En todas partes en donde se establecía un centro de comunidad, allí también acudían á su alrededor las gentes vecinas buscando como una protección que no podían encontrar dentro de las autoridades conquista-

(*) San Benito hijo de noble y opulenta alcurnia vino á este mundo en el año 480 en Norcia en Umbria, educado en Spoleto fué para Italia y valiéndose de sus discípulos, todo el Occidente el célebre ordenador de la vida ascética, lo que habían sido los santos Antonio y Paconio en Egipto y San Basilio en Asia menor. El deseo de sus padres estaba cifrado en que su hijo sobresaliera en posición y honores y con este motivo le enviaron á Roma para que allí hiciera sus estudios. Una vez allí y dado por su misma naturaleza á un carácter tranquilo y sumamente devoto chocó con este el estado de corrupción de costumbres que asaz reinaba en la ciudad imperial y viendo los grandes peligros á que se exponía dentro de una sociedad tan corrompida le faltó tiempo para huir de la populosa capital dirigiéndose inmediatamente á esconderse en una gruta situada en uno de los puntos más solitarios de Subiaco; permaneciendo allí bastante tiempo aislado y lejos de todo ser viviente, excepción hecha de un monje que la visitaba de cuando en cuando para suministrarle el indispensable alimento desde lo alto de una roca. Divulgóse de tal manera la fama de sus actos místicos y religiosos, tomando tal ascendente moral, hasta el punto de darle los honores de la santidad y llamarle la comunidad del monasterio de Vicovaro próximo de Tívoli para que los rigiera como á superior. Aceptó, pero la rígida disciplina y austeridad que allí introdujo no fué del agrado de aquellos monjes acostumbrados como estaban á una completa licencia de modo que lamentándose de tal elección trataron de librarse de semejante yugo por medio del veneno. Pero habiéndolo presentido San Benito los abandonó para volver á su voluntario destierro. No decayó por este su prestigio al contrario fué aumentado más y más aquel sitio ignoto y antes casi desconocido llegó á ser el centro en donde se reunían muchas almas piadosas para recibir enseñanzas é instrucciones saludables del santo que allí cobijaba. Inspirados estos acólitos con semejantes doctrinas diéronse á la construcción de doce monasterios en cada uno de los cuales colocó Benito doce monjes con su superior reservándose empero la suprema autoridad de todos ellos. Como fuera objeto de persecuciones, por parte de Florenzo, sacerdote de costumbres no muy sanas vióse obligado á partir de Subiaco y dirigirse á Monte-Cassino, en donde derribó el templo de Apolo y convirtiendo aquellos idólatras al cristianismo. Levantó dos capillas, y un monasterio cual fué la cuna de la orden benedictina. Aquí fué donde publicó su famosa Regla la cual había sido ya hecha y puesta en práctica en los doce monasterios antes mentados.

Bien pronto la fama enalteció haciendo célebre aquel monasterio así como su fundador y hasta tal extremo pregonada que habiendo llegado á oidos de Totila rey

doras sumergidas en el más insondable caos á consecuencia de las aflictivas circunstancias que habían sobrevenido al derrumbarse el coloso imperio romano.

En estos lugares retirados no solo se dedicaban á la vida áustera y de oración sinó también se emprendían trabajos de indispensable utilidad, apertura de caminos, conducción de aguas, cultivo del terreno, edificación del monasterio y talleres, obras todas que proporcionaban el sustento á todos los que allí acudían en aquellas azarosas circunstancias huyendo de las calamidades sociales.

Pero no solo atendían á los medios de subsistencia así como á la de sus colonos sinó que también purificaban las almas mostrándoles el camino de la abnegación y desprendimiento, amar y apoyar al desvalido, ser solícitos con los pobres, expiar las faltas, y á practicar toda clase de virtudes

de los ostrogodos y que si bien profesaba el arrianismo pero respetaba la fe de Nicea, que profesaba la mayor parte del pueblo de Italia quiso conocer al tal renombrado cenobita de Monte-Casino.

Cuéntase que en la entrevista que tuvo lugar entre estos dos personajes, el santo increpó duramente al Rey sobre sus licenciosas costumbres y desórdenes á que se entregaba recordándole el poco tiempo de que disponía para arrepentirse de los escándalos sucedidos, siendo tal la fuerza del razonamiento que si bien no hizo mella en el bárbaro para su conversión al menos no corrigió la franqueza y severidad del lenguaje como hubiera hecho en toda otra persona. San Benito continuó tranquilamente la dirección de sus monasterios cuales iban prosperando rápidamente. A él acudían fieles de toda edad y condiciones no excluyendo á los niños y á cada uno daba las ocupaciones pías, y á la vez el trabajo que se adoptaba más á cada individuo. El trabajo natural se alternaba con el intelectual, el cultivo del campo con el estudio de las ciencias literarias sagradas y profanas. Los que eran menos hábiles se dedicaban á la copia de los códigos sagrados, libros piadosos y principales textos de la antigua literatura. Los ermitaños de Occidente, antes de aparecer este reformador de la vida ascética, perdían sumergidos en una estéril indolencia sus facultades físicas é intelectuales. Se comprende pues lo importante y trascendente de esta reforma. Ella estriba en una regla fundada principalmente en el silencio, la soledad, la oración, la humildad, la obediencia, el trabajo, la educación de la juventud, la agricultura y toda otra ocupación útil á la vida. Su fundador prescribiendo estas observaciones en una regla muy superior, á la de Paconio y de Basilio dió principio á una renovación social pues sustituyó al trabajo del esclavo ó siervo el del hombre libre, bajo cuyos principios reposa el progreso de la moderna civilización. Mereció que Gregorio el Grande bautizara esta institución ó regla con el concepto de *discretione prœcipua sermone*. Los discípulos de San Benito con su laboriosidad y ejemplos dieron la mejor prueba de orden, instrucción, terrenos incultos que transformaron en lozanos, comarcas, pantanosas que desecaron. Las colonias de los benedictinos fueron pues colonias y escuelas de ciencias, artes, industrias y toda clase de mejoras. San Benito no alcanzó ver todo el desarrollo y apogeo de su obra pues murió en Monte-Casino en el año 543.

cristianas respecto á sus semejantes. Fueron estos monjes los que sembraron entre el pueblo prostergado los gérmenes de libertad é independencia que enseña la resistencia moral á toda clase de fuerza despótica, abriéndoles un refugio consolador contra los males del alma, un asilo de oración inviolable y sagrado.

Así fué como después de algún tiempo que se habían atendido las necesidades perentorias, realizado los trabajos más esenciales que asegurar debían la estabilidad de la permanencia y arraigados paulatinamente en todas partes la utilidad y servicios que se reportaban con la instalación de semejantes agrupaciones, atención hecha del estado social que imperaba, pudieron dedicarse con más calma al estudio y enseñanza de las letras, las ciencias y las artes, encerradas entonces dentro de los límites de los monasterios únicos puntos en que fuera de los disturbios, luchas y placeres mundanales, se encontraba el reposo, calma y moral que son tan indispensables para que fructifiquen los resultados del trabajo del espíritu el cual alienta en la concentración.

Si pues estos edificios eran los únicos puntos en donde se había encerrado el saber y la práctica de toda clase de conocimientos humanos no será de extrañar que á los monjes cistercienses se debiera en casi la mayoría de los casos el desarrollo de la arquitectura y en especial de la románica, que algunos han llamado monástica, adquiriendo la arquitectura cristiana, la unidad de concepto que aun no había alcanzado el arte desde la arquitectura griega.

Hubo sin embargo una época en que fué necesidad establecer algunas reformas en la orden de San Benito atención hecha y debido quizá á circunstancias fortuitas. Los monjes así como sus abades habían abusado y falseado algún tanto de la regla.

Y en efecto durante las épocas de mayor desorden en que las irrupciones generales, la disciplina sino completamente perdida se había falseado bastante cuando convirtiéndose los monasterios en fortalezas llenas más bien de guerreros que de hombres dados á la vida ascética y religiosa; los abades se ponían al frente como jefes de las tropas laicas y lo mismo los monjes lanzados de sus monasterios muchas veces obligados de cambiar la cogulla por los arreos militares. De aquí el carácter que afectaron algunos recintos y fachadas de determinados monasterios.

Vino finalmente un período de tranquilidad relativa y con el prestigio de los hombres eminentes que por su saber y virtudes se impusieron logrando con sus atinadas reformas á dejar sentadas sobre sólidas bases la institución creada por San Benito para los refugios cistercienses.

Entonces fué cuando llegó á adquirir aquella preponderancia tal que solo en la sociedad había dos poderes, el militar y el monástico, cuyo último llegó á sobreponerse al primero por ser de natural principio que la fuerza moral adquirida por las buenas costumbres y ejemplares actos desarrollados al calor de la caridad, virtudes y conocimientos que lleva en sí el saber ha de vencer á toda teoría ó institución cuyo argumento sea solamente la fuerza material.

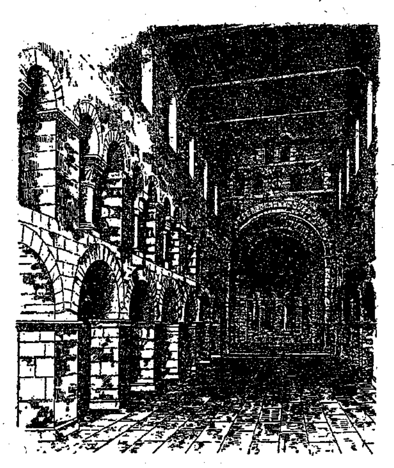


Fig. 56.—Iglesia de Vignori.

Que la regla del Císter llegó á adquirir gran preponderancia es un hecho comprobado desde el momento que desde su seno salieron eminencias en todos los ramos del saber, elevándolos sus merecimientos á las más altas dignidades. De allí salieron Papas, Cardenales, Arzobispos, grandes teólogos, sabios metafísicos y artistas distinguidos siendo autores del sinnúmero de Cenobios en los cuales resplandece el verdadero tipo de la arquitectura de aquella época.

67. El estilo románico puede considerarse como dividido en dos épocas ó períodos distintos, distinguiéndose uno de otro por la forma de los arcos y bóvedas que entran en su composición. En el primero impera en él de un modo absoluto el arco de medio-punto, comprendiendo este período el siglo XI y la primera mitad del XII: es el estilo románico puro.

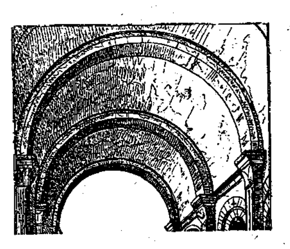
El segundo aparece combinado con el arco de medio-pun-

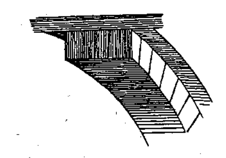
to, el apuntado ú ojival: es el estilo románico de transición y corresponde á la segunda mitad del siglo XII.

Insiguiendo las prácticas seguidas en las iglesias latinas, continuóse á emplear la madera para las cubiertas del edificio (Fig. 56), más al poco tiempo y vistos los nuevos adelantos de construcción importados de otros países se llegó al convencimiento de que los edificios religiosos que disponían no eran á propósito para desafiar al tiempo, estaban expuestos á incendios, no tenían el aspecto monumental que era de desear y tampoco se adaptaban á la severidad y recogimiento necesario.

Desde el siglo XI se empezó una nueva era de reconstrucción para los edificios religiosos, partiendo sobre nuevos datos y llevando la estructura de tal modo que aquellos edificios pudieran ya no solamente afrontar las injurias del tiempo, sino que también toda causa eventual de ruina.

Empleóse al principio la bóveda en cañón seguido en las naves bajas ó laterales construídas ya de obra mixta ó ya de hormigón y piedra menuda, dejando la central cubierta con material leñoso. Se sustituyó luego la cubierta leñosa de la parte central con bóveda también de cañón seguido, más como esta construción necesitaba de muros cuyo grueso había de ser considerable para recibir el empuje en toda la longitud de la bóveda, bien pronto en otras construcciones se la reforzó á trechos con una serie de arcos torales (Fig. 57) que la dividían en secciones; y al objeto de contrarrestar el empuje de los mismos reforzaron el muro por la parte exterior por medio de contrafuertes correspondientes en la parte de arranque de los arcos torales interiores. En este caso los arcos de refuerzo están construídos con dovelas (Fig. 58) sosteniendo la bóveda superior.





Figs. 57 y 58.
Cañón seguido reforzado por arcos torales.
Arco toral. Detalle.

→ **68.** La bóveda por arista romana resultado de la penetración de dos cilindros iguales y cuya planta que han de cubrir es un cuadrado, no se había dado en olvido hasta

aquella fecha así es que si bien se estaba usando no lo era sin embargo de un modo continuo y sí en determinados casos especiales, pero de todos modos se conocía perfectamente.

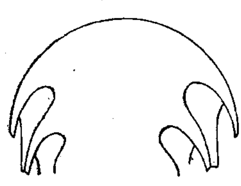
Si ahora nos hacemos cargo de la disposición de la planta de una iglesia latina y tenemos en cuenta que considerándola en el sentido de su longitud está dividida en tres naves, la central y las dos laterales menores que la primera y susceptibles de dividirse estas dos últimas en su longuitud en varios compartimentos en forma de cuadrados apropósito todos ellos para estar inscritos por bóvedas por arista. Así es que se adoptó esta disposición para estas naves laterales descansando estas bóvedas por arista sobre los cuatro arcos de cada sección dos torales y los otros dos formeros, continuando la nave central cubierta con el cañón seguido reforzado con los torales. En cuanto á los machones ó construcciones de refuerzo situadas en la parte exterior á la vez que servían para el contrarresto del toral central se aprovechaban del mismo modo para los laterales y aristas de la bóveda. Con esta modificación fueron algún tanto aligerándose las masas. En su virtud se adoptó la disposición de conservar el cañón seguido con sus torales para la nave central adoptando las bóvedas por arista para las naves laterales separadas estas últimas bóvedas una de otra por medio de arcos también torales.

Andando el tiempo y en vista del éxito obtenido con las naves bajas se trató de proseguir este sistema, de cubrir con bóveda por arista la nave central, pero aquí se presentaba la dificultad de que los compartimentos cuadrados de las naves laterales eran aquí en este caso, de forma rectangular y no permitían la construcción de la bóveda por arista romana lo cual exige que los dos cilindros sean iguales teniendo por lo tanto la misma luz y peralte.

69. De persistir pues en emplear los dos cilindros, ha de resultar que los menores cortaran al central según curvas que no serán planas cuyos puntos culminantes han de encontrarse más bajos que la generatriz más alta del cañón mayor, dándonos así tanto á derecha como á izquierda tantas aristas en luneto como compartimentos existan á lo largo de una nave (Fig. 59).

Se comprende fácilmente que con semejante combinación había de serles á los constructores más dificultoso el cimbraje de esta clase de bóvedas atención hecha al cambio continuo

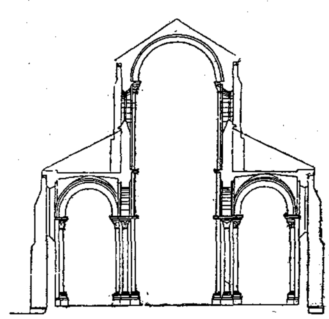
de curvatura que dá la línea de intersección y que ésta no siendo conocida de antemano no es fácil; á lo menos de un modo exacto, preparar el cimbraje en toda la periferia de la misma. No se conocían aun en aquella época los métodos rigurosos que más adelante habían de aparecer gracias al adelanto creciente de la Geometría y en especial la que últimamente se bautizó con el nombre de Descriptiva; por otra parte se concibe fácilmente que si el cañón de la nave central se extiende en una longitud considerable, las perforaciones irregulares de los arcos que tiene á sus lados se han de ofrecer á la vista por un pesado y monótono aspecto en virtud de lo irregular y desagradable de la forma.


Fig. 59.—Lunetos en la nave central.

70. Para obviar este último inconveniente se elevó todo el cañón central de modo que su arranque quedara encima de los puntos culminantes de los arcos ó ventanas laterales (Figura 60) pues entonces los arcos de estas aberturas concluían al ras del muro.

Pero este sistema á pesar de su extrema simplicidad no podía persistir por mucho tiempo; el cañón seguido de la nave central no pudiendo tener el debido contrarrestro dada la disposición de la parte inferior del edificio, estaba expuesta á abrirse después del descimbramiento.

Á atenuar esta dificultad obedeció que se introdujera una nueva forma en la bóveda para así disminuir el empuje adoptando á principios del siglo XII (Nave de la catedral d'Autun) para la sección recta de la bóveda un arco apuntado, reforzando también la bóveda por arcos torales de la misma forma, continuando del propio modo las pilas exteriores, objeto de los contrafuertes que con esta disposición po-


Fig. 60.—Arranque de la nave central más alta que los puntos culminantes de las aberturas.

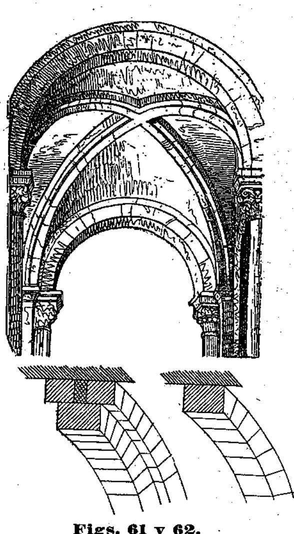
dían ser más reducidos. Apesar de estas modificaciones algunos años más tarde de terminada esta obra se vió que no había llegado á perder el movimiento de asiento abriéndose la construcción, agrietándose obligando con ello á introducir obras de refuerzo así interiores como exteriores.

El caso pues al fin de tantos ensayos, quedaba reducido á estudiar un medio especial que tendiera en su construcción ya á aligerar la bóveda ya también á disminuir el empuje. Habiéndose empleado con ventaja y ensayado convenientemente la sustitución del cañón seguido por bóvedas por arista en las naves laterales, era lógico que igual intento se llevase á cabo para la nave central, más la disposición de ser rectángulos los compartimentos en que dicha nave queda dividida impedía según hemos dicho anteriormente el empleo de la bóveda de arista romana á consecuencia de tener distintos diámetros los arcos toral y formero. Se trató pues de evadir esta gran dificultad haciendo algunas pruebas y tanteos y entre ellos se practicó el desarrollado en la iglesia Abacial de Vezelay durando mucho tiempo la adopción de este ejemplo como tipo. Al efecto imaginaron dos semicircunferencias verticales levantadas sobre las diagonales de la planta de un compartimento y el punto de cruce de estas dos curvas se tomó como á culminante de la bóveda que había de partir de los formeros y torales y cortarse forzosamente en las dos semicircunferencias diagonales y siendo ellas pues las aristas de la construcción. Se infiere de aquí que las superficies que forman el intradós de dicha bóveda dejan de ser cilíndricas y pasan á ser forzosamente superficies envolventes de las posiciones distintas de líneas ó generatrices que se apoyen sobre las aristas, los arcos torales y los formeros según el trecho triangular de que se trate. Esta disposición hace que las dos aristas se encuentren en la parte superior de modo que los ángulos en que se efectúe la intersección sean poco pronunciados y las cuatro superficies casi confundidas en este punto en un plano tangente horizontal insinuándose muy poco las aristas en las inmediaciones del cruce.

Tíenese así la ventaja también de facilitar la construcción aligerándola bastante con el peralte que se le dá trasladando los esfuerzos á puntos determinados del arranque de la que antes era bóveda en cañón seguido permitiendo disminuir los gruesos de la construcción escogidos entre los puntos de

arranque así como disponer los contrafuertes exteriores de modo que no tengan un espesor tan desmesurado.

Verdaderamente se había dado un paso notable en el problema que se debatía pero aun faltaba algo que cumplir. Tal como se han llevado las construcciones se obtiene en cada tramo de la nave longitudinal una bóveda formando un todo ó masa compacta, esto es, un solo macizo en el cual están unidas las aristas como parte inherente de esta masa y aun que estas aristas son las que tienden al empuje, en el concepto ya de estar invariablemente unidas con el resto de las cuatro partes triangulares de la bóveda, éstas últimas de por sí participan también, al efectuar el asiento de la obra del movimiento del empuje aun que el esfuerzo no sea de mucho tan considerable como en el sentido de las aristas. Buscar pues una solución que trasmita todo el empuje en el sentido de las diagonales era precisamente lo que se quería lograr. A este efecto se dividió la construcción de cada tramo en dos partes; la una activa esto es, que trabajara por su especial estructura; la otra pasiva apoyándose encima la primera obrando en ella no más que la gravedad siendo su única misión la de cubrir. La primera así venía á constituir, la hosatura ó costillas de la bóveda, simples arcos cruzándose y compuestos de dovelas é igualmente estaban adovelados los torales y formeros, y la segunda la constituía el relleno de los témpanos de la bóveda formados con piedra menuda ó sillareja (Fig. 61).


Figs. 61 y 62.
Crucerío. Arcos reforzados.

Vénse algunos ejemplos en que los arcos de las bóvedas como las arcadas de las naves estaban compuestos de dovelas de sección rectangular y reforzadas generalmente con una fila de dovelas más pequeñas (Fig. 62).

71. Claustros. — Era el claustro una parte notable de un monasterio sirviendo de comunicación á todas las dependencias del edificio como celdas de monje, sala capitular, la biblioteca, el coro, el locutorio, el refectorio, etc., etc., lugar de esparcimiento de los monjes y como el carácter monacal llevaba en sí el que los seglares les estuviera vedado el penetrar en el recinto de un monasterio de aquí que se conociera con el nombre de *claustrum* á todo el edificio en general, y en particular la parte del mismo cuya disposición simboliza la clausura. Las galerías de los claustros se abovedaron empleando en esta época el cilindro en cañón seguido y reforzado por arcos torales. Uno de los ejemplos más notables es sin duda alguna la de la iglesia de San Pablo de St. Remy. Esta bóveda (Fig. 63) es un cilindro en cañón seguido con hiladas adoveladas dividido en varios compartimentos por una serie de arcos torales como potentes nervios que fortifican y apoyan la construcción. Estos arcos estriban por una parte en el muro de recinto y por la otra en unos muy gruesos contrafuertes que evitan el empuje de la bóveda. Parte del grueso de estos arcos insisten sobre unas pesadas ménsulas empotradas en el muro. Además todos los contrafuertes que siguen en la misma dirección de los arcos torales están para su debida consolidación enlazados exteriormente por una serie de arcadas, cuyo vano de cada una se decora por una serie de arcuaciones sostenidas por columnas pa-

Fig. 63.—Claustro de San Pablo en St. Remy.


Fig. 64.—Abadía de Montmajeur. Claustro.

readadas de un riquísimo carácter románico. La figura 64 que representa la parte exterior del claustro de la abadía de Montmajeur cuya construcción se llevó del mismo modo que la referida de San Pablo en St. Remy nos dará idea de tan acertada combinación por lo demás los despiezos en esta clase de ejemplos son sumamente fáciles pues quedan reducidos á tener á la vista simplemente; muros y arcos. Las galerías del claustro se cortan sucesivamente en los rincones por medio de aristas que son objeto de la bóveda acodillada.

Las ménsulas que reciben los arcos torales precisa que se hallen fuertemente enlazadas é inamovibles con el muro, resistiendo con seguridad el peso y esfuerzo que le trasmite el arranque del toral y para que esto pueda tener debido efecto se las solía terminar por la parte posterior (Fig. 65) en forma de cola de milano, la que se internaba en el muro dando así la misma naturaleza del corte, garantías suficientes en la construcción. Igual sistema seguía para afianzar una columna (Fig. 66) disponiendo entonces en la parte posterior del abaco que iba empotrado en el mismo la ya indicada cola de milano.

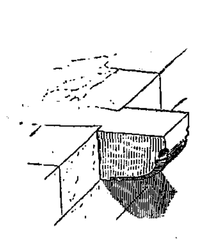


Fig. 65.
Fijación de ménsulas

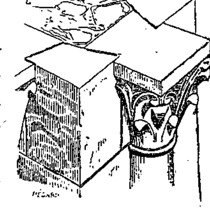
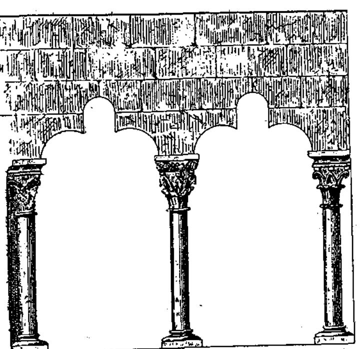


Fig. 66.
Columna empotrada.

Una de las páginas más antiguas del arte arquitectónico en este período, es la iglesia de San Pablo del Campo en Barcelona, y en ella el claustro, ejemplo típico en su clase, pues aparece el tinte románico con reminicencias árabes en sus arcuaciones á tres y á cinco lóbulos respectivamente, según sea el lado del cuadrado en donde están situadas (Fig. 67).

Los arcos están sostenidos por columnas robustas, de poca altura, todas pareadas, descubriéndose un conjunto pesado, un cierto sello de fuerza que informan aquellas masas que tienden al cuadrado; trasunto de la barbarie de aquella época, con sus capiteles toscamente labrados figurando en ellos alimañas nunca vistas que solo la imaginación puede forjar, y luego como por antagonismo en otros capiteles aparecen cince-

lados, originales festones, de los cuales sobresalen replegándose caprichosas y ligeras hojas.



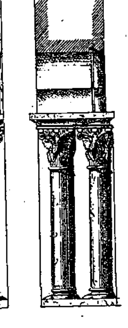


Fig. 67.—Claustro de San Pablo, Barcelona.

Alguna de estas columnas tienen trabajada la base con bastante precisión. Las achatadas aberturas permiten tan solo una escasa luz ofreciendo con esto un aspecto como sombrío y misterioso estando en carácter con la rudeza de aquellos tiempos. Se atribuye este ejemplar especial del arte románico como fundación de Guibberto Guitardo y de su esposa Rotlandis. (Ultimos del siglo XI á principios del XII). Nada más elemental que su despiezo. Cubre las galerías que circuye el patio una simple techumbre de madera.

72. Contrafuertes.—Esta construcción especialmente empleada para evitar los empujes de arcos ó bóvedas, la constituyen masas exteriores que se les daba distintas formas, ya haciéndolas aparecer como columnas cilíndricas empotradas en el grueso del muro, ya también como pilares cuadrados ó rectangulares que se elevan hasta alcanzar la cornisa de lo edificado. Entre los más primitivos pueden citarse los de la iglesia de St. Remy en Reims (siglo X) compuestos de semicilindros empotrados en los muros de las naves laterales en la dirección de los arcos torales así como otros cilindros del mismo género embebidos en

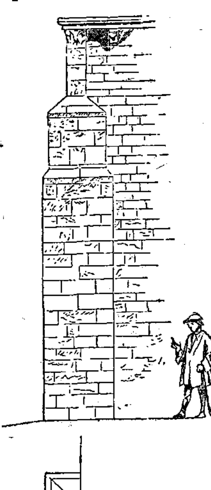


Fig. 68.—Contrafuerte de

los muros de la nave central para reforzarlos en los puntos donde se colocaba un cuchillo de armadura pues en aquella época no estaba aun cubierta con bóveda dicha nave. Terminaban estos cilindros verticales unas caperuzas en forma de superficies cónicas y más adelante en casos análogos se emplearon los capiteles de columna para este remate.

Hay contrafuertes angulares, en una esquina por ejemplo en la figura 68 representa un contrafuerte del siglo XI acompañado de su despiezo, en la iglesia de Allonne contrarrestan el empuje de bóvedas por arista componiéndose de tres cuerpos que van disminuyendo á medida que se elevan recibiendo el último la cornisa del edificio, sin embargo los contrafuertes primitivos y que ordinariamente corren á lo largo del muro se componen de varios cuerpos que disminuyen de grueso á medida que pasan de una á otra altura salvando en el paramento este distinto grosor por medio de albardillas muy pronunciadas, pero estas no interesan en las partes laterales del contrafuerte, las que constituyen un solo plano vertical (Fig. 69).

Fig. 69.—Contrafuerte con albardillas.

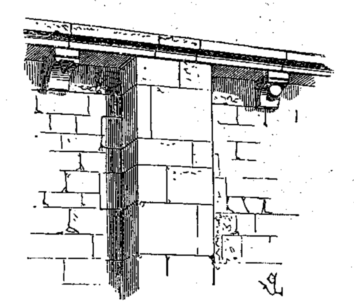
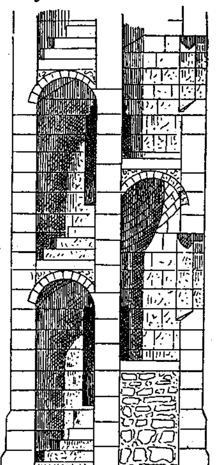


Fig. 70.
Simple contrafuerte terminando por la misma cornisa del muro.

Estos contrafuertes eran sumamente sencillos como sencillos eran también los alzados exteriores de las construcciones antes del siglo XII y así se comprende que siendo ya los muros de por sí bastante gruesos el espesor del contrafuerte ó su saliente con respecto al muro fuese poco considerable reforzando no más los puntos de apoyo principales viniendo muchas veces á ser coronados (Fig. 70) por la misma cornisa.

73. Data de este período un ejemplar de escalera sumamente importante y especial bajo todos conceptos, modelo típico de problema de Estereotomía conocido con el nombre de bóveda de San Gil (Fig. 71) por estar construída en la abadía de este nombre, y ha sido tal su importancia que su nombre ha sido escogido para bautizar á toda clase de bóvedas helizoidales cuyo arco generador sea una semicircunferencia, siendo tal la fama que conquistó que por una serie de años acudían allí en tropel maestros y oficiales canteros de toda Francia para estudiar sobre la localidad la resolución de semejante escalera, admirar su mérito y adquirir nuevos conocimientos que aplicar pudieran en lo futuro y en semejantes casos.



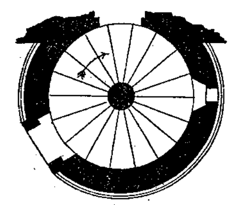


Fig. 71.—Bóveda de San Gil.

Tiene planta circular y en su medio se levanta un cilindro concéntrico al muro de caja cuyo cilindro hace el oficio de alma de la escalera. El espacio anular entre estos dos cilindros sirve para efectuar la subida ó la bajada. La bóveda ó superficie de intradós está engendrada por la circunferencia **A**, **B**, **C** que gira alrededor del eje común, permaneciendo tangente á los cilindros concéntricos, elevándose á la vez que gira en alturas que son proporcionales á los espacios angulares recorridos: dicho está pues que todos los puntos del intradós describirán hélices y la superficie será helizoidal mientras que al dar grueso á la bóveda y fijar las líneas de junta normales á la sección generadora, estas líneas normales nos engendrarán las superficies de junta de la clase de conoides helizoides mientras que la línea **E**, **F**, engendrará también un heli-

zoide pero éste será de plano director cuyo es el horizontal

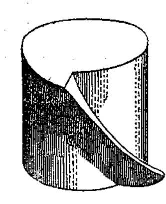


Fig. 72.—Detalle de la bóveda de San Gil.

Los peldaños que son de piedra, van directamente sustentados por esta bóveda coincidiendo sus aristas salientes en el sentido de los radios proyectados en la planta. La puerta exterior está en G. y el primer peldaño en H. Todos estos peldaños desde el punto de partida hasta concluir la primera semivuelta descansan sobre un macizo de mampostería y luego viene en pos de sí la bóveda antes indicada. El alma está compuesta de una serie de rajas llevando cada una de ellas consigo una pequeña hilada helizoidal saliente y es el mismo trozo de arranque de la bóveda hacia la parte del alma (Fig. 72).

Dicha parte saliente es ventajosa y facilita el asiento de la bóveda á lo largo de una misma hilada. Esta clase de escaleras, no suele exceder de un metro en su ancho ó luz.

74. **Ojival.**—La arquitectura Ojival ó Gótica, se extendió desde la mitad del siglo XII hasta al final del XV. No es aquí lugar oportuno para entrar en discusiones sobre la conveniencia y razón de haber adoptado dichas denominaciones para distinguirla. Unicamente dejaremos consignado con respecto á la palabra *Gótica*. 1.° que los incultos moradores de las orillas del Báltico, antes de verificar sus irrupciones no poseían más que simples cabañas, formadas de tierra, arbustos, maderas, pieles, etc., edificios por cierto bien elementales.

2.° En el siglo VIII habían ya desaparecido los godos, y la arquitectura ojival no apareció en sistema hasta mediados del siglo XII y por mejor decir hasta el siglo XIII.

3.° Los godos no dejaron ningún edificio monumental y por lo tanto no pudieron tener ninguna influencia en el arte.

Concretándonos ahora al nombre Ojival, se infiere que los que lo han bautizado han venido confundiendo un rasgo característico del arte, con el arte mismo, pues es una verdad comprobada por la historia y por los monumentos, que el ojivo no fué en un principio la causa, sino la consecuencia del sistema de construcción que lleva su nombre.

Si de la invención del arco quebrantado fuese lícito deducir todos los secretos que informan el arte de los siglos XIII, XIV y XV bien pudiéramos terciar con los pueblos que se disputan la gloria de su invención, pues lo teníamos en la Catedral de Córdoba, erección del siglo IX, en Santa María de Naranco fundación de mediados del siglo IX. Pero es que estos ejemplos no reasumen los caracteres esenciales del arte, no explican sus principios ni determinan sus combinaciones. Adoptaremos pues dichos nombres acatando el fallo del uso y la costumbre que así los ha admitido, aunque sean puramente convencionales.

72. La arquitectura Ojival no es el producto de una generación espontánea; es la simple continuación regular y lógica de la arquitectura románica, así como esta última no hizo más que ir siguiendo las tradiciones, acomodándose según los tiempos á las necesidades y usos que iban naturalmente sucediéndose.

Hubo un tiempo que la arquitectura románica había ya alcanzado un carácter especial y propio en todas sus muchas y famosas construcciones en las cuales cundía el desarrollo de los principios, cuales venian á la práctica de un modo franco, espontáneo y racional, esto es, sin vacilaciones ni tanteos como sucedía en sus comienzos al intentar resolver ó innovar cualquier cuestión. Exenta pues de incertidumbres, resueltas la mayor parte de dificultades subvenidas naturalmente cuando se presenta el planteo de un nuevo orden de cosas, floreciente y lozana ejercida y siendo patrimonio absoluto de una clase que se había hecho poderosa en aquel entonces por su autoridad moral, por encerrar en su seno todo lo que el saber humano podía alcanzar, y por ser muchos los recursos económicos de que podía disponer, resultaba con todo esto en el mejor estado para emprender en su senda nuevos adelantos y rápidos progresos, máxime cuando la emulación había cundido entre los monasterios aguijoneando á sus ascéticos moradores á sobresalir y excederse unos á otros en las magníficas construcciones de sus respectivos conventos; más no fué así pues un espíritu innovador sobresalió por doquier clamando no ya por reformas sino por cambios radicales en todas las esferas de acción, fueran de la clase que fuesen, resintiéndose sobremanera el organismo social, no participando menos de esta revolución de ideas el arte arquitectónico, el cual tomó nuevo rumbo desplegándose de una manera com-

pletamente diversa y obedeciendo á la vez á nuevos principios si bien estos fueron consecuencia de los anteriores.

Los conocimientos humanos encerrados hasta entonces dentro los límites de los monasterios (por exigirlo así la barbarie de aquellos tiempos) tuvieron tendencia á salirse de estos recintos para difundirse en todas partes en donde se presentara un centro fructífero de civilización y adelanto, en donde se iniciaban ideas de conciencia de la autonomía del alma, que al sacudir el yugo de los entonces estrechos y tradicionales límites, tendía á que el saber se difundiera también á la gente laica.

Esta notable evolución de las ideas viene sino patrocinada á lo menos consentida y aún secundada por el episcopado y el poder real y aún este último favorece hasta donde cabe el establecimiento de municipios, comunidades, gremios y agrupaciones del trabajo formando así entre el pueblo, los reyes y los obispos una tácita alianza contra el poder cada vez mas creciente de la feudalidad y es que ésta aparecía con un caríz que empezaba á inquietar á unos y á otros; convenía pues al poder real, combatirla en el orden civil y al obispado en el orden religioso poniéndose el pueblo decididamente de parte de estos por exigirlo así sus intereses, tomando una parte muy activa en la lucha emprendida contra la feudalidad de los monjes y la de los señores.

Queriendo ya desde luego los obispos dar un testimonio de su poder, disponen que los modestos edificios hasta entonces dedicados al culto se sustituyan con suntuosas y ricas catedrales superiores á los magníficos monasterios hasta aquella fecha construídos, y que no resistan estos á la comparación de aquellos. Los seglares responden con un verdadero entusiasmo á tales empresas acudiendo en tropel á secundar la idea ofreciendo hombres y recursos pecuniarios. La construcción de estas inmensas catedrales no se demora; levántanse sin cesar, y es la preocupación imperante de toda la gente laica, siendo laicos los arquitectos que abandonan la arquitectura antigua de los monasterios, inauguran otra más grandiosa, monumental y severa, aunque hija en sus consecuencias de la anterior, pues la disposición de una catedral sea tan vasta como se quiera viene á ser al fin la de una basílica tal como se disponía en la época precedente, todo lo fundamental en la construcción del edificio se conserva en la nueva época, limitándose no más á dar mayor desarrollo y expre-

sión al conjunto. Las formas secundarias son distintas están concebidas bajo otro orden de ideas y ello hace que el carácter quede completamente cambiado.

73. El problema arduo de la arquitectura ya desde el siglo XI era la construcción de bóvedas pues las especiales condiciones que se exigían las hacían difíciles y aunque muchas eran las que se construían, todas al fin y á la postre, dejaban vislumbrar sistemas viciosos en las disposiciones adoptadas. Las naves laterales se cubrían con bóvedas por arista, y la central con cañón seguido empleando empero los arbotantes para evitar el empuje de dicho cañón, el cual se le dividió en varios compartimentos comprendidos cada uno entre dos arcos torales y dos formeros.

Mas esta disposición no dejaba de acarrear dificultades para la iluminación que obligaba á levantar más los muros, de sí ya bastante altos, y no queriendo llegar á este extremo, obligó á levantar el punto culminante de los formeros, siendo así forzosa la aplicación de la ojiva. Se levantó del mismo modo la clave de los torales porque no resultaran rebajados, y con gran empuje los cruceros, de donde provino al fin el uso general de la ojiva como elemento fundamental, y su aplicación también á los mismos cruceros, puertas, ventanas, arcadas, arbotantes, decoración, etc., etc. Así pues se vino á sustituir por la misma naturaleza de las necesidades nuevamente impuestas el arco apuntado al de medio punto, considerándolo en las bóvedas como directriz en la superficie de intradós, ó por mejor decir el que había de reglamentar la formación de esta superficie. El nuevo arco tenía además la ventaja sobre el primero de ser más asequible, pues no exigía tantas dificultades para su respectiva formación así como no daba un empuje tan pronunciado al muro. Esta clase de bóvedas se establecen ya sobre plantas rectangulares distribuyéndose uniformemente su acción sobre todos los puntos de apoyo. Los fajones y las aristas aparecen como á nervios salientes constituyendo como una hosatura de la bóveda permitiendo un sistema de corte el más elemental; al formar estos nervios en su conjunto el esqueleto de la bóveda, permite éste se asiente el lienzo general de la misma, dividido en tantas partes cuantos sean los compartimentos de división, cuyos han resultado de la combinación sucesiva de los nervios principales con los secundarios, cuyos segmentos son ya

á proposito de reducida extensión, permitan que las masas parciales destinadas á cubrirlos sean de poco espesor, no tengan por lo tanto mucho peso, permitan una fácil ejecución, construídas con ventaja y dando al mismo tiempo condiciones de seguridad.

Los pilares de la nave central se separan más de lo que estaban antes, á la vez que se reducen en su asiento, y en cambio se lanzan más en el sentido vertical. No teniendo bastante seguridad en los mismos á pesar de haber disminuido los empujes de la bóveda por medios tan ingeniosos se construyen para sus correspondientes estribos y en su parte alta, los botareles que empiezan en los mismos puntos del empuje lanzándose hacia la parte exterior en forma vistosa y arqueada hasta venir á buscar el fuerte punto de apoyo que ora es el suelo, ora un fuerte y grueso pilar; se quiere garantir más estos botareles y se les sujeta á una carga vertical terminando sus estribos altos y esbeltos por medio de floridos y elegantes pináculos.

Las construcciones de contrarresto y refuerzo en la arquitectura romana y en la románica quedaban aprisionadas en el interior del edificio y aquí en la ojival se descubren todas en la parte exterior de una manera franca y valiente como complaciéndose el constructor en demostrar y poner en evidencia lo aéreo y atrevido de su concepción.

Otra ventaja no menos notable nace de por sí al aparecer el botarel, pues su empleo permite que las paredes del recinto que antes eran de gran espesor se reduzcan ahora en los justos límites del que necesita una simple cerca, invitando con esto á rasgar de una manera decidida las paredes del recinto y allí establecer estos preciosos ventanales que el especial sistema de bóveda adoptado facilita la elevación; pudiendo ingresar ya en este caso mayor cantidad de haces de rayos luminosos que se derraman por el interior del monumento, suavizados por los matices que toman al atravesar múltiples vidrios de radiantes colores alojados en el ventanal; propiedades que no tenían las antiguas iglesias que estaban en general sumidas poco menos que en la oscuridad.

En efecto, las iglesias románicas exigían macizos pilares, gruesos muros, mientras que por otra parte los espacios iban reduciéndose ocurriendo que al poco tiempo de ser construidas resultaban insuficientes en las ciudades cuyo aumento de población era rápido, no podiendo contener el número

de fieles que allí querían congregarse. La iluminación interior dejaba mucho que desear por los inconvenientes que se seguían del sistema de cubierta; el aspecto pues era triste y sombrío, no armonizando por cierto sobre todo en los últimos tiempos de su apogeo con las costumbres y civilización en adelanto ya en aquél entonces.

Fué necesario pues levantar iglesias más capaces en las cuales los puntos de apoyo interiores implantaran su huella en la menor posible superficie de terreno, que fueran apropósito para una circulación más fácil y expedita; más desahogadas é iluminadas, llenando los requisitos indispensables para una buena ventilación; que se redujeran los espesores de las paredes del recinto al objeto de aprovechar espacio y tener más economía; y en una palabra que tuvieran los mejores requisitos para contener la fervorosa multitud ávida de visitar el sagrado lugar.

Las necesidades de la construcción son las que crean las formas: los pilares destinados á sustentar varios arcos se dividen en tantas columnas como arcos tenga que recibir la cabeza del pilar. Estas columnas son de un diámetro más ó menos grande según la carga que están destinadas á soportar, elevándose cada una de por sí hasta buscar los nervios de la bóveda que han de recibir sus capiteles. Los arcos son más ó menos anchos, de más ó menos espesor, compuestos de una ó dos hiladas de dovelas en razón del trabajo que les está reservado. Algunos lienzos de muro casi inútiles en virtud del nuevo sistema de construcción desaparecen casi en gran parte en los grandes edificios y en cambio son sustituidos por grandes ventanales, rosetones y toda clase de rompimientos decorados por caprichosas figuras geométricas entrelazos con vistosas combinaciones no siendo el menor elemento de ornamentación los vidrios de múltiples colores ofreciendo luz radiante á la par que inofensiva suave y agradable.

74. Para el debido estudio de la arquitectura ojival se ha convenido en dividirlo en tres épocas ó períodos llamados el primero primario ó lancetado que comprende todo el siglo XIII. El segundo, secundario ó radiado que floreció en el siglo XIV y finalmente el tercero, terciario ó flamígero desarrollado durante el siglo XV y parte del XVI.

En el primer período aparecen los arcos muy apuntados,

con los centros fuera del vano, afectando así la forma de lanceta por cuyo motivo se le ha dado el nombre de lancetado ó lanceolado. Las bóvedas están formadas por piedras de sillarejo convenientemente aparejadas. Dos nervios diagonales, dos fajones y dos formeros constituyen la hosatura (Fig. 73) la cual sostiene el lienzo que constituye la cubierta ó bóveda propiamente dicha. El punto de intersección de los nervios diagonales está decorado con un pequeño rosetón. Las crucerías, arcos torales y formeros descansan respectivamente sobre las cabezas de los cuatro pilares que lo reciben y desde donde arrancan cortándose entre sí como si estuvieran aprisionados pero á una pequeña altura se desgajan mutuamente yendo á buscar cada uno, ya aislado, su punto culminante. En las inmediaciones del salmer, las juntas son horizontales esto es mientras los nervios están reunidos formando un solo manojo, pero desde el momento en que se quedan aislados, se disponen los planos de junta de cada uno de por sí, normales á su respectivo intradós; con esta disposición se conseguía más solidez, más economía en la piedra y en su labra.

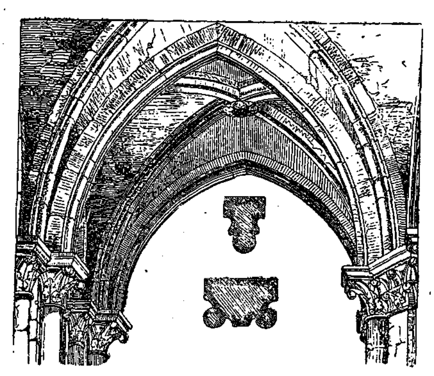


Fig. 73.—Bóveda ojival.

En los siglos XIV y XV la ojiva fué rebajándose hasta alcanzar la forma equilátera, y al objeto de que las superficies que formaban los compartimentos del casquete de la bóveda no fuesen tan considerables, se subdividieron en mayor número los nervios introduciéndose las cadenas y braguetones al mismo tiempo que se multiplicaban las molduras en las arquivoltas de los arcos torales y cruceros, con profundas escocias entre los toros acorazonados en su mayor parte. Las columnas que se colocaron en los pilares eran más numerosas y delgadas en consonancia con las molduras de los arcos torales. En el siglo XV apareció la arquitectura ojival con un lujo de detalles inusitado, se apodera una febril excitación en el alma del artista hasta el punto de ocultar ó cuando menos perder la importancia las líneas generales por ser grande la aglomeración y riqueza de la parte ornamental que todo lo invade. Las arcadas festoneadas, las líneas onduladas, altos y elegantes pináculos, molduras prismáticas, un sinnúmero de calados y perforaciones contribuyen á que adquiera en esta época un carácter especialísimo que le valió el nombre de flamígera por la ondulante apariencia que animaba á la mayor parte de sus detalles. La ojiva se hizo rebajada hasta alcanzar el ángulo obtuso apareciendo por primera vez el arco conopial (Fig. 75) y también el escarzano generalmente coronando puertas y ventanas.

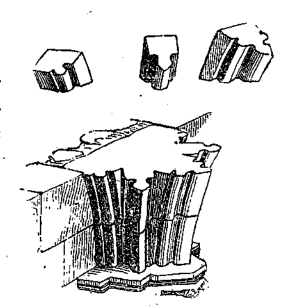


Fig. 74.
Nervios en el arranque.

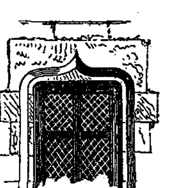


Fig. 75.
Arco conopial.

La crucería de las bóvedas se convirtió en una red de nervios, desaparecieron ó se redujeron los capiteles de columna de los pilares quedando los fustes en la prolongación de las nervosidades dividiéndolos un sencillo cordón ó faja adornada cuando no aparecían capiteles, como si estrecharan fuertemente al numeroso haz que allí se formaba.

75. En este período es cuando aparecieron ornamentando las molduras de los nervios estas piezas colgantes sustituyendo á las simples claves, sobre todo en el cruce central, partiendo los constructores del principio de la estructura de las mismas bóvedas góticas; las cuales admiten que su clave sea bastante pesada para que impida el movimiento ascendente de los nervios durante la reacción y así aprovecharse de esta propiedad para dar más peso á la misma añadiéndole el apéndice colgante, de formas variables apareciendo caprichosas según el genio é inspiración del artista asemejando muchas veces estas bóvedas en su conjunto á esos techos que produce la naturaleza y cuajados de estalactitas.

En general se usaba el corte en cola de milano para la

debida sustentación, otras veces hierros auxiliares retenían el peso colgante.

Se comprende perfectamente que de abusar de este género especial de decoración pueden dar lugar á inconvenientes graves para degenerar en peligro, pues tal puede ser la

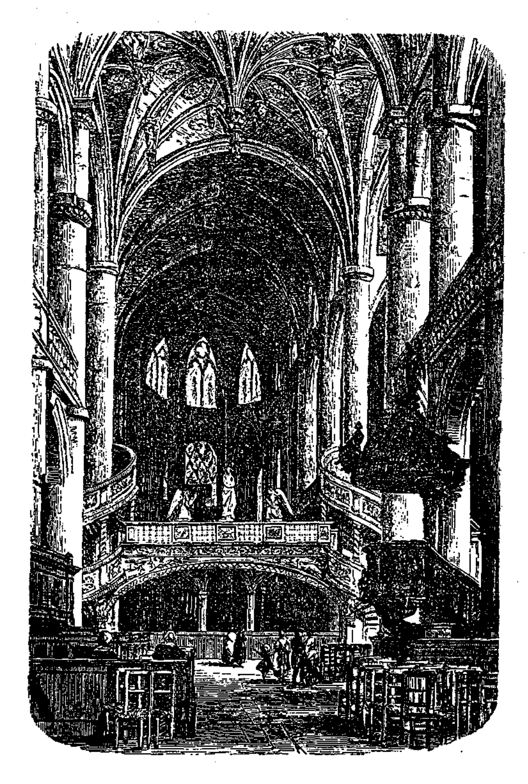


Fig. 76.—Clave colgante.

masa de estos detalles que concluyan por comunicar un trabajo exagerado á la bóveda en lugar de retenerla en sus justos límites, máxime cuando se introduzcan piezas de hierro para el aguante, las cuales están siempre expuestas á alteraciones favoreciendo así el desprendimiento de tales adminículos.

76. Los arbotantes ó botareles fueron el rasgo especial y característico de la arquitectura ojival. Mientras que el contrarresto de la bóveda de la nave central se verificaba por el interior del edificio ya valiéndose de bóvedas de medio cañón ó por pequeñas bóvedas de arista que á la vez cubrían las naves laterales todo problema que se trataba de resolver siempre quedaba incompleto como si hubiera indecisión, lleno de vaguedades, pues aparte de la cuestión constructiva aparecía la de iluminación interior. Más en el momento que los contrarrestos se situaron fuera del edificio, como si rompieran su reducido encierro aparecieron estos arcos botareles acusando francamente al descubierto la índole de la construcción, entonces es cuando la estructura de las iglesias se desarrolla con holgura emprendiendo adelantos sin ninguna clase de interrupción ni traba que lo embargue siendo cada uno de ellos consecuencia inmediata de otros nuevos y sucesivos.

En los botareles estriba toda la fábrica en virtud del sistema de construcción adoptado, es un miembro inherente indisoluble de la masa total, quítese el botarel á las iglesias ojivales y tanto valdrá separar un pájaro de sus alas.

Estos arcos por tranquil, se presentan en su primitivo tiempo bajo la forma de un robusto cuarto de círculo que insiste por uno de sus extremos en el suelo ó en un contrafuerte (Figura 77) y por el otro en la parte superior del estribo adherido al muro precisamente en el mismo punto del empuje de la bóveda. Esta disposición resistía al empuje solamente por su propio peso pues cargando sobre el refuerzo del muro le añadía una nueva carga además de la correspondiente á la bóveda; era pues un peso inerte que contrarrestaba un empuje oblicuo. Adoptando esta forma la práctica hizo reconocer que el arco obedecía á la tendencia de abrirse por el punto **A** cuando sobrevenía un empuje considerable en atención al poco cálculo que había precedido al determinar las dimensiones del arco.

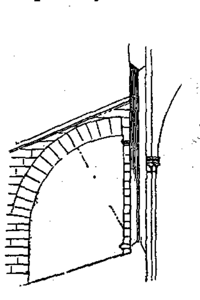


Fig. 77.-Arco botarel. Primera época.

Modifícase en su virtud, algún tanto la curvatura al entrar de lleno el período ojival, haciendo que los puntos de

arranque tengan más desnivel y que el centro del arco cuyo ahora es menos que un cuadrante caiga en el interior del edificio y obre en su conjunto como á fuerte tornapunta y trasmita los empujes casi verticalmente hacia los contrafuertes (Fig. 78). No se les vé aun extenderse á mucha distancia del muro de recinto ya sea por razón de economía ó ya también por hallarse al principio de su desarrollo y no alcanzar sus constructores la valentía que desplegaron más tarde sus futuros émulos. No cunde aun el adorno sobre este detalle de construcción.

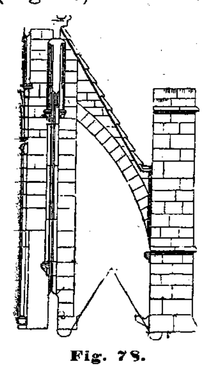


Fig. 78.

Ya próximo á entrar el segundo período ojival, los arbotantes habían sido objeto de detenido estudio por parte de los constructores quienes aleccionados por el sinnúmero de casos prácticos realizados en los años anteriores, pudieron establecer ya reglas y disposiciones para estos elementos relacionados siempre con la importancia de las bóvedas cuyo empuje van á neutralizar. Lánzanse ahora en el espacio cual contrafuertes volantes, conservando empero y con pocas excepciones la forma de los anteriores. Casí siempre están sobrepuestos y descendentes de nave en nave precediéndose unos á otros como unidos invariablemente (Fig. 79) por un grueso pilar terminado la mayor parte de veces por un esbelto pináculo.

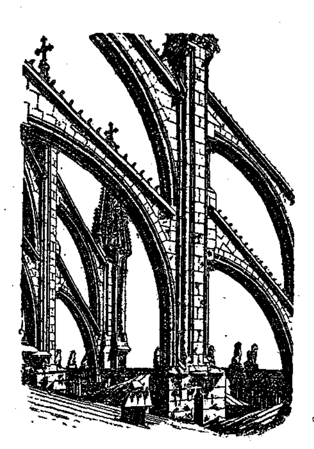


Fig. 79.

Ingenioso es el despiezo que se emplea en la bifurcación de las dos ramas con el pilar central; ya empieza con simples hiladas horizontales en el arranque; ya se desprenden luego los arcos del pilar, tomando su despiezo propio normal á la curvatura, ya independiente de las hiladas horizontales

del macizo ó ya alguna vez como formando parte de él para la debida estabilidad y enlace.

Finalmente en el último período si bien se continua el sistema anterior, dando quizá aun más extensión y desarrollo á los arbotantes se les utiliza como á ornamentación sacando y valiéndose de ingeniosos artificios, de un gran partido de sus formas generales. Sin embargo tanto se trató de buscar nuevas ventajas y mejorar las condiciones de los mismos con pueriles innovaciones que estas concluyèron por falsear algún tanto el principio fundamental de su estabilidad y resistencia. Así es que existen algunos casos (Fig. 80) que se llegó á sustituir el arco de circunferencia que contrarrestaba perfectamente al empuje, por otro arco compuesto cuyas propiedades no eran de mucho tan ventajosas para asegurar la resistencia con motivo de apoyarse en los pilares de las naves, dando esto como á resultado la tendencia á la separación de las bóvedas siendo entonces el empuje de éstas en sentido inverso al correspondiente á los pilares. La rotura se verificaba en las inmediaciones del punto **A**.

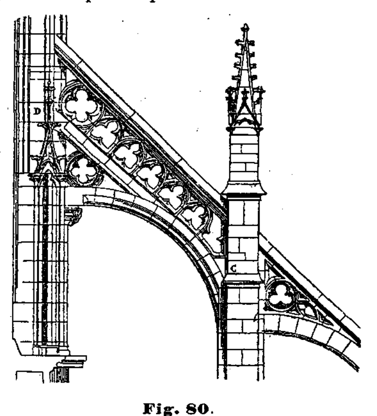


Fig. 80.

77. Una de las partes más brillantes y esenciales de la ornamentación en la arquitectura gótica fueron los ventanales y rosetones que imprimieron á ese tipo religioso un carácter tan severo á la par que lo poetiza con el trabajo tan laborioso de imaginería. Nacieron porque la misma fuerza de los hechos que se iban sucediendo unos en pos de otros lo exigieron

Cuando en la mitad del siglo XII la escuela laica inaugura su original sistema de arquitectura lo primero que trató de estudiar, según ya en otro párrafo hemos indicado, lo primero que llamó más su atención y esto por estricta necesidad, fué la modificación de la estructura de bóvedas y darlas nue-

vas formas que respondieran á los otros datos que venían planteados en su problema. El resultado de sus investigaciones fué la conclusión: que la bóveda construída en ojiva cuyos aristones van á descansar sobre las cabezas de cuatro pilares trasmiten el esfuerzo que desarrolla; sobre los mismos, quedando por lo tanto inútil el lienzo de muro intermedio entre dichos pilares, cuales muros quedan no más en todo caso utilizables como á simple cerramiento y de convenir vacuos estos espacios podría sin dificultad suprimirse el lienzo de construcción.

Aprovechando pues esta circunstancia, se rompieron los muros antedichos, perforándolos en extensas aberturas para alojar en ellas sendos y rasgados ventanales, magníficos y elegantes rosetones cuyos permitían el ingreso de esplendente luz destinada á derramarse por todo el ámbito sagrado. Ya esa luz comunica al templo esa claridad indefinida y misteriosa al ser matizada por los vivos y hermosos colores de que al parecer queda impregnada cuando atraviesa ese mosaico de cristales encerrados en las severas y artísticas vidrieras. Ya esa luz aunque radiante inofensiva y mitigada y en múltiples combinaciones de entonación cae de lleno sobre aquellas venerandas masas que van sobresaliendo más y más con la ilusión óptica que resulta de los sorprendentes claros y oscuros dó surgen los maravillosos efectos perspectivos, masas que al levantarse esbeltas, aisladas para recibir su atrevida bóveda parece que lo hacen volando á la región de lo infinito, impresionando y transportando en dulce deliquio el alma del cristiano.

Que la arquitectura gótica es esencialmente racional y metódica, se deduce examinando detalle por detalle todas las partes que la constituyen, todos satisfacen perfectamente á las necesidades por las que han sido creadas y en armonía con los materiales de que pudo disponer.

Las partes del edificio, son de entidad, tal que sin ellas no pudiera ser constituído, se presentan de modo que su situación sea fija é invariable y de tanta duración como sea dado tenerla el mismo cuerpo que lo informa demostrando con esto que la misión y el carácter que han de tener es el de ser permanentes pues sin ellas dejaría de ser tal edificio. En cambio las partes supletorias y de adorno que no influyen en la esencia debida del mismo quedan dispuestas de modo á demostrar un carácter secundario siendo de facil desaloje siempre y

cuando lo indiquen las circunstancias y así demuestran hasta cierto punto su independencia de la masa general.

Los ventanales y rosetones que se ostentan en los desnudos paños de los muros, concentrando así más en su interior la riqueza y prodigalidad del inspirado ornato, nos dan una prueba bien marcada en el modo de su aparejo de lo susceptibles que son dichos detalles para poderse quitar ó ser sustituídos por otros, gracias á su especial enlace á simple junta, sin material de unión sostenidas solamente las piezas por el simple corte del despiezo general que lo informa; esto es, absolutamente independiente de la hosatura general del edificio.

Téngase á la vista uno de esos grandes rosetones adaptados al ojo de buey que perfora al muro y se observará que en su conjunto puede considerársele como encerrado en un marco de ventana siendo dable quitarlo á mansalva sin que sufra en nada la estabilidad del edificio. Las diversas piezas que lo componen quedan únicamente sostenidas por el más ó menos acertado despiezo que producen sus distintas juntas á la par que la mocheta que le aprisiona (Fig 81).

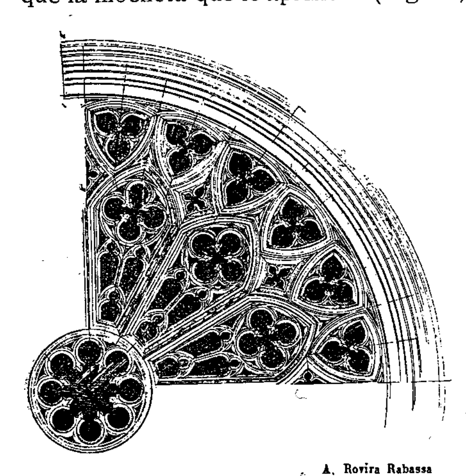


Fig. 81.-Rosetón de San Culgat del Vallés.

Las juntas tienden siempre á los centros de las curvas interiores, pues así se comprimen y sostienen por igual pero conciliando siempre que en dichos cortes presida un sistema tal que las piezas resultantes sean de forma que no exija un desbaste excesivo cuidando de no dejar ramales demasiado aislados y así prevenir la rotura; pues ésta es muy fácil tratándose como en este caso de la labra de piedras tan perforadas y de gruesos relativamente exiguos en virtud del paciente trabajo que precisa practicar en ellas además del movimiento á que se la somete durante el período de dicha labra.

78. Ventanas de formas varias se presentan: ya terminando el vano por una ojiva general que encierra otras dos gemelas, ocupando el espacio que queda entre éstas y la ojiva madre por medio de un rosetón lobulado (Fig. 82). Ya el hueco general termina en línea recta como arco adintelado cobijando en su marco distintos compartimentos en donde la imaginación del artista desarrolla en tan reducido espacio todo lo más inspirado y bello que ha dado de sí el arte ojival.

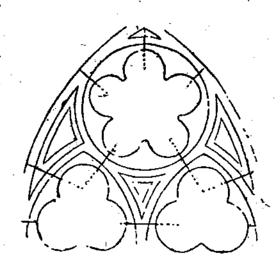


Fig. 82.—Ojivas gemelas.

79. La ventana del palacio del rey D. Martín en el monasterio de Poblet es un bellísimo ejemplar, tipo acabado en su composición, clasicismo en el dibujo y pureza de líneas (Fig. 83). Ingenio y mucho, tendría el autor de este famoso ventanal, cuando para facilitar la distribución de su atinada obra se decidió á dividir en tres compartimentos de una reducida anchura el ancho del total vano, cuales encerró entre cuatro esbeltas, graciosas y aéreas columnitas que sostienen otros tantos primorosos pináculos. ¡Qué bien sientan ahora en ellos estos calados triangulares en donde se alojan los arcos apuntados, naciendo en el interior de estos las volantes ojivas con el rosón intermedio! ¡Qué delicadeza y primor en el picado de las hojas que bordean el contorno y las mayores que se mecen caprichosas ocupando el friso superior!

Bien comprendería el artista que su obra llamaría sobre manera la atención y que vendría á ser el centro de observación de los curiosos, de propios y extraños, cuando aprovechando la ornamentación de los capiteles de las columnitas antedichas, surgen de su mente motivos y en especial en uno de ellos en que su talento llegó á igualar á su chispeante socarronería y buen humor, cuando aprovechándose (según deja vislumbrar el P. Benedictino Manuel Ferreres en sus "Perlas del monasterio de Poblet") de las rivalidades que sin cesar se suscitaban entre los monjes de distintos conventos llegó la idiosincracia del artista á tal punto, hasta permitirse la libertad de esculpir en uno de dichos capiteles una escena relacionada con anécdotas y consejas que pululaban en el contorno tendiendo al ridículo del bando contrario.

80. Cuando el arco que cierra la abertura ha de estar sujeto á gran resistencia á la presión, entonces se le aumentaba su grueso componiéndolo de varios arcos superpuestos, ex-

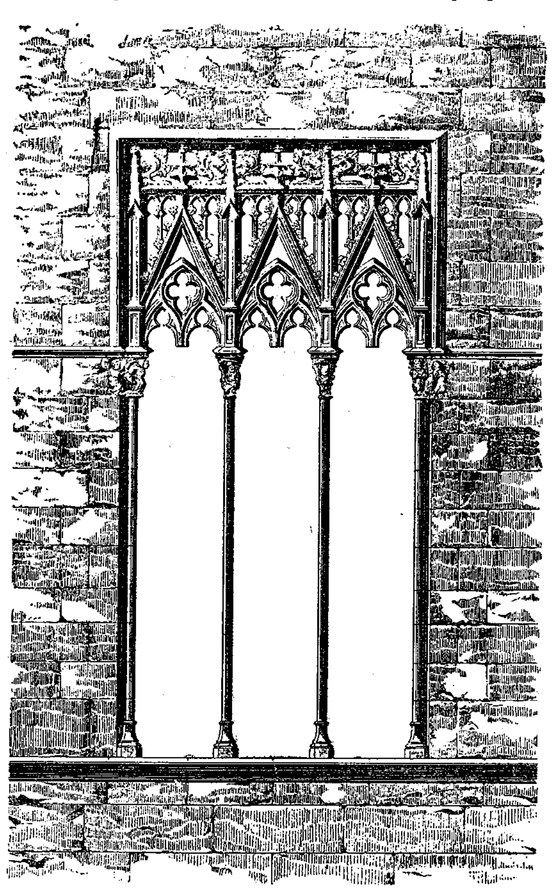


Fig. 83.
Ventanal del palacio del Rey D. Martín.—Monasterio de Poblet.

tradosados y uniéndolos de modo á formar una sola masa (Fig. 84). Las dovelas que componían cada una de estas hiladas tenían ordinariamente una dimensión de 0'30 á 0'40 adheridas y dispuestas de modo que en el momento de efectuarse

el asiento pudiera aunque de un modo leve obedecer al mismo y así evitar la rotura.

Conforme con esta serie de hiladas el aparejo antedicho, se comprende que ha de ofrecer más resistencia y conservar mejor su forma primitiva que si este aumento de grueso se hubiese dispuesto en una sola pieza en cada respectiva dovela, pues de todos modos la flecha producida por el asiento en este último caso habiendo de ser igual á la producida en el primero, en cambio esta tiene la ventaja de la libre acción en las juntas componentes, cuales pudiendo llevar con más ventaja el movimiento, solventan la dificultad de la rotura.

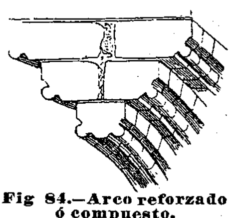


Fig 84.—Arco reforzado ó compuesto.

De todos modos las juntas de los arcos concurren al centro respectivo por medio del cual se han trazado aquellas curvas, excepción hecha en ciertos y determinados casos cuales, uno de ellos (Fig. 85) al considerar el vértice A del arco apuntado en el cual se dejaba junta vertical no existiendo clave en esta clase de arcos, disposición muy conveniente pues en este excepcional punto los dos medios arcos se comprimen mutuamente, salvando así la dificultad de la rotura, admitido el caso de existir una pieza angular formada por los dos ramales de los medios arcos.

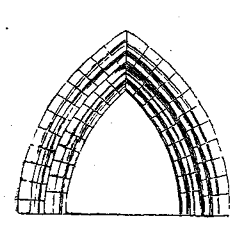


Fig. 85.

En los arcos lancetados las juntas de las dovelas forman ángulos bastante agudos con el plano horizontal de arranque, circunstancia favorable para que resistan mucho á la presión y ofrezcan poco empuje.

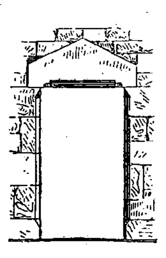


Fig. 86.

81. Son poco frecuentes los dinteles en esta época; cuando se emplean se disponen de una sola pieza pues en general es reducido el hueco que encierran. Unos están terminados en forma triangular (Fig. 86) para poder poner el sólido en condiciones más ventajosas para recibir la presión;

otros reforzados por pequeñas ménsulas colocadas en los ángulos de la abertura que así reducen y disminuyen el efecto de la compresión (Fig. 87).

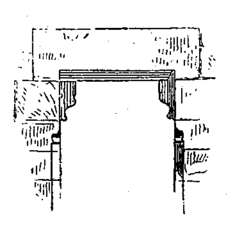


Fig. 87.

Sin embargo alguna que otra vez siendo el vano considerable es cuando se acude al fraccionamiento

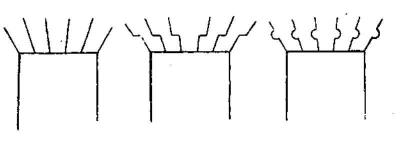


Fig. 88. Fig. 89. Fig. 90.

empleando simplemente dovelas acuñadas (Fig 88), ó á más de conservar esta forma se las acompaña con redientes (Fig. 89) al objeto de aumentar la resistencia y por último empleando también espigas laterales (Fig. 90).

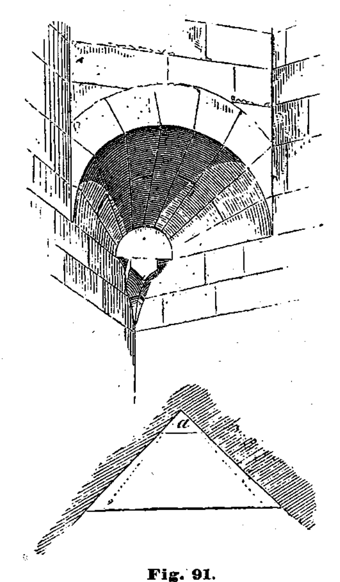


Fig. 91.

82. Las trompas, estas bóvedas voladizas y que según las circunstancias afectan formas tan variadas y que sirven para dar apoyo á simples cuerpos salientes de la masa general del edificio, hicieron su aparición aplicándose bastante en las construcciones de la edad media muy especialmente en los edificios militares ó fortificaciones. Ya se presentaban en el siglo XI formando una serie de anillos concéntricos y en superficie cónica, cada uno de ellos superpuesto al anterior pero independiente uno de otro, ó ya en el siglo XII componía una sola superficie cónica la correspondiente al intradós (Figs. 91 y 92) colocando en el vértice una pieza pequeña semicircular y saliente para dar más fuerza á la

bóveda en este punto, en donde la acuidad pronunciada de las aristas de junta harían hender la piedra á la más leve señal de asiento.

Al principio se emplearon las trompas cónicas en sustitución de las pechinas cuando se trataba de construir cúpulas sostenidas por arcos torales

Otras veces para facilitar esta construcción voladiza dividíase el espacio que había de cobijar, en dos partes empleando á la vez dos trompas iguales y más pequeñas (Fig. 93). Por medio de una serie de ménsulas superpuestas y en resalto se salvaba toda la volada que había de formar palanca y el conjunto de la pieza así formada servía de asiento al arranque de las dos trompas; precisaba pues que el constructor se asegurara de la buena calidad de la piedra y de la entrega de la misma en el interior del muro. Infiérese y en especial en

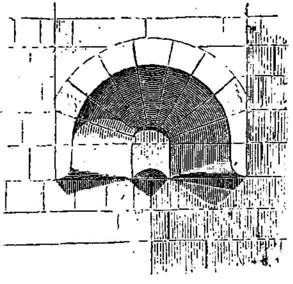


Fig. 92.

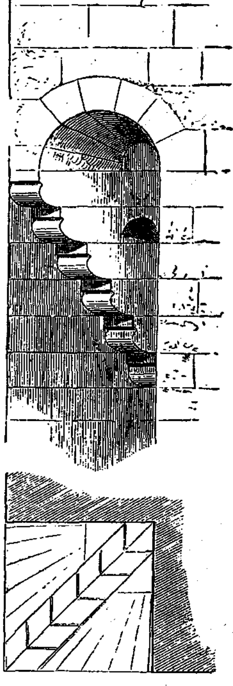


Fig. 93.

el siglo XV ser muy dados los constructores al empleo de trabajos de esta naturaleza en donde se descubre el ingenio y artificio para salvar el sinnúmero de dificultades que la misma naturaleza de las cosas dá de sí; entonces para hacer gala de los conocimientos que cada maestro tenía á mano, se prescindió en absoluto de los cuerpos auxiliares que hasta entonces se habían empleado y se edificaron trompas

que fueran sostenidas tan solo por el mejor acierto que había presidido en su aparejo, más como abusaron de los cortes en rediente al objeto de aumentar la resistencia con el mayor contacto, de aquí es que sucediera que parte de las superficies de junta no pudieran estar en la disposición más ventajosa que requieren, cual es que dichas juntas se confundan con los mismos lechos de cantera. Son pues estas construcciones de índole tal que presentan serias dificultades obligando á apelar á medios extremos siempre deficientes.

83. Las escaleras fueron objeto de especial estudio en el período de la arquitectura ojival, las hubo en rampa recta y curvilíneas y éstas últimas en mayor número, unas al descubierto otras interiores, adelantaron bastante en su construcción, proponiéndose la mayor parte de autores resolver con ellas problemas raros y especiales marchando esta rama de la sección del corte de piedras al nivel de los progresos estereotómicos desarrollados en esta época.

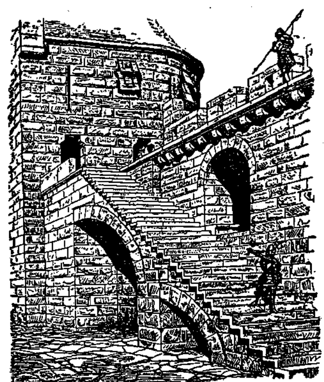
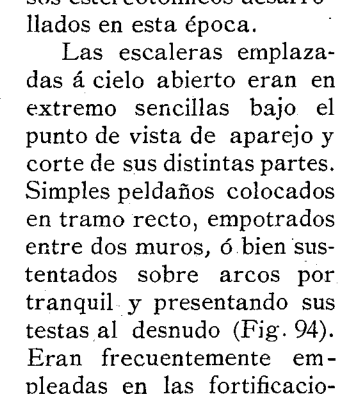
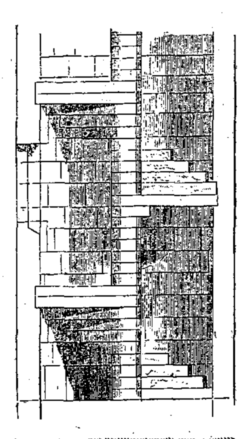


Fig. 94.



Las escaleras emplazadas á cielo abierto eran en extremo sencillas bajo el punto de vista de aparejo y corte de sus distintas partes. Simples peldaños colocados en tramo recto, empotrados entre dos muros, ó bien sustentados sobre arcos por tranquil y presentando sus testas al desnudo (Fig. 94). Eran frecuentemente empleadas en las fortificaciones adjuntas ó adosadas al recinto amurallado y siendo muy altos los caminos de ronda con respecto al plano de la localidad, estas escaleras eran muy á propósito para el servicio al mismo tiempo que para facilitar la comunicación. Esta disposición permitía hacerlas tan holgadas como se desearan pues un mismo peldaño podía componerse de varias piezas, siendo todas prismas rectos sentados directamente.

84. Continuáronse en las escaleras interiores, disposiciones análogas á las de la bóveda de San Gil del período anterior aun que en muchos casos se abandonan las bóvedas helizoidales en bajada, en atención á que en los comienzos del siglo XIII se explotaban las piedras en mayores dimensiones pudiendo así emplearlas salvando más espacio. A este efecto los peldaños se construían de una sola pieza de modo que cada una de ellas llevara consigo una raja del alma de la escalera. Estos peldaños superpuestos apoyándose en resalto y embebidos en algunos centímetros en el grueso de la caja cilíndrica constituían la escalera siendo el procedimiento como se vé de fácil labra y colocación rigiendo al mismo tiempo la economía en el sistema, comparación hecha con el aparejo de la bóveda de San Gil anteriormente mentada (Fig. 95). Semejante disposición y estructura obedecía al espíritu y tendencia que privaba en aquella época, cual era satisfacer á la necesidad impuesta de llevar las construcciones en el más breve plazo posible, y en efecto este aparejo era sumamente expedito pues evitaba el cimbraje y enlazaba mejor el alma de la escalera con la caja, haciéndose recíprocamente solidarias, pues entonces, los peldaños vienen haciendo oficio de ataduras que unifican por completo el sistema; todos son iguales, pueden construirse de antemano valiéndose de las mismas plantillas y su colocación se presta para hacerse rápidamente una vez marcada la hélice indicadora en el cilindro de la caja.



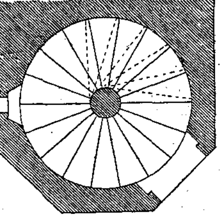


Fig. 95.

85. En este período que la Estereotomía había alcanzado nuevos vuelos y casi puede asegurarse que se encontraba al principio de su desarrollo formal dada la comparación con las prácticas de tiempos anteriores; período en que al florecer había dado motivo á distinguirse por sus estudios, fácil

iniciativa y pródigos de grandes recursos de construcción; los muchos y eminentes arquitectos entre los cuales se suscitó una loable emulación pues ganosos de mostrar su saber y habilidad no sólo en los límites del arte sino que también en los de la ciencia geométrica empleándola con su genio y artificio en arduas cuestiones del corte de piedra; hicieron estas circunstancias que todo tendiera, al mejor lucimiento del arte y aparecieron contínuas innovaciones hijas del resultado que habían dado varios problemas planteados adrede para causar maravilla.

Consistía una de estas cuestiones en la construcción de escaleras de doble paso ó doble revolución, esto es; dispuestas de tal modo que dos personas podían hacer la subida de dos puntos distintos, ó bien la una subiendo y la otra bajando sin que llegaran á encontrarse ni verse. Llamó de tal manera la atención esta clase de escaleras según nos indica Maturín que vino á ser el detalle obligado que había de tenerse en cuenta al empezar todo edificio por poco importante que fuera. En una palabra, este artificioso ejemplo se convirtió como diríamos ahora en dije y objeto de moda y pasatiempo.

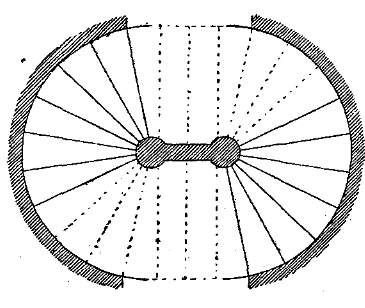


Fig. 96.

El dibujo adjunto (Figura 96) dará á comprender perfectamente la disposición de que se trata. Los puntos de partida son: A y B, los primeros peldaños están representados en C y D, y la dirección del camino que se recorre viene indicado por las flechas F F''. Todo queda pues reducido á que el número y altura de los peldaños que se cuentan de C á E, sean suficientes para que al pasar de esta primera vuelta á la segunda de E á G, exista en E una holgada altura para que con facilidad pueda emprender la subida la persona que en la parte inferior empiece subiendo en el peldaño D, y como esta altura será constante en todo punto de la escalera de aquí es que será muy fácil comprender por medio de la disposición dada á estas dos escaleras y considerando el macizo E que constituye el alma de las mismas y que á la vez las aisla una de otra haciéndo-

las independientes, de como dos personas puedan á la vez hacer la subida, ó si se quiere la una subiendo y la otra bajando, sin que puedan encontrarse ni verse.

86. A partir del siglo XII desarróllase un lujo y riqueza notable en la construcción de escaleras sobre todo en palacios y casas señoriales, buscando en ellas exprofeso complicaciones que aquilatar debían así el talento y artificio de sus autores. De esta fecha datan estas disposiciones de planta cuadrada con alma en el centro de la caja colocándose los peldaños en dirección radial. Mas como que las dimensiones del paso eran ya algo considerables pues se trataba de escaleras que aunque de tramo curvo y alma eran de importancia y hasta lujosas, había de suceder que los peldaños diagonales tenían una longitud mayor que los demás, al objeto pues de darles mas apoyo se combinaron las trompas en los ángulos las cuales terminaban en la parte superior ya por una recta situada en el lado del octógono inscrito á la caja ó ya también por la cuarta parte de una hélice situada en el cilindro inscrito tangente interiormente á la misma caja.

En cuanto al alma de la escalera como que había de estar en armonía con la importancia de la misma, era objeto de mucho cuidado y entretenimiento; así es que en su fuste se esculpian los más ricos y caprichosos trabajos de ornamentación la cual seguía en armonía con la dirección inclinada de la escalera y aprovechando los retallos escalonados embebidos en el mismo fuste (Fig. 97) cuyos rehundidos en algunos centímetros servían para prestar apoyo á los peldaños en sus extremos convergentes

El despiezo de este cilindro central se hacia por hiladas horizontales de bastante altura, quedando así dividido en distintos tambores lo bastante resistentes para asegurar el apoyo y estabilidad de las piezas empotradas, quizá se exageraba algún tanto el grueso de este cilindro del alma pero no dejaba de constituir por eso un recurso que daba por otra parte la ventaja de no acentuar demasiado la convergencia de los citados peldaños.

Como se comprende la construcción de esta pieza central merecía un cuidado sumo en su labra pues habiendo de preceder su construcción á todas las demás partes de la escalera precisaba que para formar los resaltos escalonados en donde se habían de empotrar las testas de los peldaños se tuvieran conocimientos bastantes para llevar á feliz práctica las operaciones previas y desarrollo de esa faja que contornea los resaltos de dicho escalonado, arrollarla luego sobre el cilindro, para efectuar enseguida el retallo inferior pieza por pieza hasta llegar á la profundidad debida en donde han de tener firme apoyo, las testas de las partes componentes y saber de antemano que han de ajustar con exactitud; operaciones todas muy prolijas y que exigen consumada pericia.

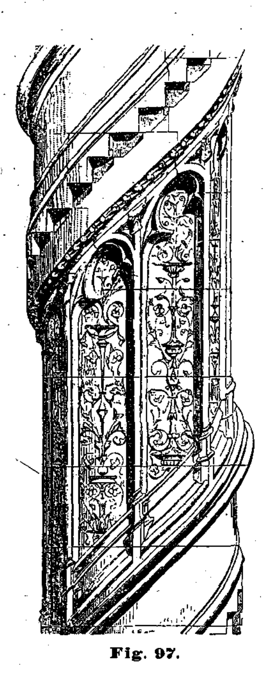
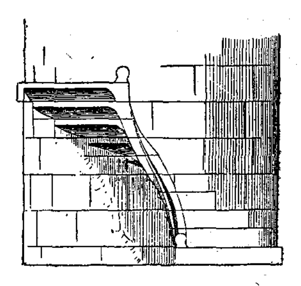


Fig. 97.

87. Aparecen algunos casos en el siglo XIV en que no teniendo espacio para el desarrollo de escaleras suficientemente holgadas se prescindía del alma á fin de dejar más libre el movimiento de los que subían ó bajaban La escalera circular entonces era de ojo y los peldaños simplemente se superponían llevando cada uno de ellos una parte de hilada del muro en el extremo de la caja mientras que en el otro extremo ó sea la del ojo llevaba unido como á forma de orejón un cuerpo helizoidal que correspondía al despiezo de un trozo de faja que envolvía de arriba abajo todas las testas de los peldaños y formaba en su totalidad la curva de ojo. En esta escalera lo propio que en las demás de su género los peldaños en su intradós afectaban también la forma de resaltos esto es sin existir una superficie contínua helizoidal, cual constituye lo agradable de la construcción pero exigiendo entonces una serie de facetas normales á dicha superficie de intradós que á la vez ayudan á la cabalgadura del peldaño (Fig. 98)

Construíanse también escaleras especiales en el interior de las habitaciones ó dependencias de un edificio para hacer más cómoda la comunicación de los pisos situados á distinta altura, éstas por su índole especial no tenían caja, provistas no más del alma correspondiente; teniendo apoyo los peldaños

por la parte exterior por medio de una serie de pies derechos cambiados en caprichosas columnitas cuando las circunstancias así lo exigían por la mucha importancia del edificio. Así nos lo indica el ejemplo de escalera circular de la catedral de Mayence de época á mediados del siglo XIII. Esta escalera está comprendida entre el alma central y la serie de columnitas situadas en la parte exterior en la dirección de las generatrices del cilindro que formaría la caja.



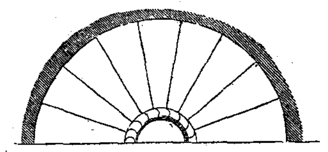


Fig. 98.

88. Ya al final del siglo XII se había adelantado mucho en el arte de la montea esto es ciencia especial que necesita un estudio particular de la Geometría, así como el conocimiento detallado de todas las propiedades y elementos que constituyen un cuerpo ya considerado por sí solo ó ya también dependiente y combinado con otros. El objetivo y sustancial de este arte se reduce á desarrollar las operaciones necesarias para dibujar al tamaño natural, por lo regular sobre un suelo bien compacto y nivelado ó sobre un muro vertical, las referencias principales del objeto cuales son las proyecciones verticales y horizontales y sobre todo otro plano que convenga, así como venir en conocimiento de las secciones más principales efectuando del mismo modo los rebatimientos, cambios de plano y giros y con ellos deducir las verdaderas magnitudes y plantillas ó desarrollos que limitan las superficies de un sólido cualquiera, datos todos que el operador recoje en el plano de montea valiéndose de ellos para trasladarlos al natural é ir formando sucesivamente las piedras.

Según se infiere de lo dicho las operaciones del plano de montea quedan reducidas á una serie de problemas de la ciencia que hoy llamamos Geometría Descriptiva adoptándola ya los arquitectos de aquella lejana época aunque si bien

basada en operaciones sueltas y á veces empíricas debidas tan solo al talento y feliz intuición de los constructores de aquella época.

Según se desprende por las señales y rasgos de líneas encontrados en algunas piedras pertenecientes á edificios muy antiguos, no era del todo desconocido este arte de los griegos así como también de los egipcios. En la misma Bizancio así como en Alejandría y aun en algunos paises sometidos á la dominación de los califas las ciencias matemáticas y todas las que de ellas dependían habían tenido gran adelanto, así es que si bien es verdad que se nota cierta ignorancia é indecisos principios en la montea durante el primer período de la edad media, sin embargo parece ser que á partir de las primeras cruzadas en que los cristianos vieron la Asiria encontrando en ella centros de enseñanza en donde se cultivaban toda clase de conocimientos de los cuales sacarían el debido fruto, el resultado fué que desde el principio del siglo XII el importante arte constituído por los métodos de proyección de sólidos y desarrollo de sus superficies ó sea el arte de la montea, habíase ya empezado á practicar aumentando ya formalmente al espirar dicho siglo adquiriendo sucesivamente mayor habilidad y criterio práctico los constructores por sus conocimientos más extensos en la ciencia geométrica cuyos adelantos siguieron sin interrupción hasta el final del siglo XV.

De los estudios y observaciones hechas sobre los monumentos de la época de que se trata y habiendo aprovechado el tiempo oportuno para el arreglo y restauración de unos, así como los derribos forzosos de otros, resultó que todas las experiencias hechas, están conformes en evidenciar que las operaciones que son objeto de la montea obedecen á un determinado método de proyección por el cual se iban originando los distintos detalles de la construcción siendo unos consecuencia forzosa de los otros sin imperar ya el primitivo empirismo, en razón de que apoyándose en principios lógicos y exactos; en los resultados habían de reflejarse y dejar ver claramente lo racional y el verdadero modo de ser de cada miembro que entrar debía á componer el armónico conjunto.

Todo cuerpo sostenido por otro, impone la forma á este último: he aquí la ley sencillísima y natural que servía de base y regía á los procedimientos de la montea.

Si se trataba de construir una de esas portadas, cuya

complicación de molduras se extendían en toda la profundidad de los derrames anteriores, la primera operación se reducía en dibujar la montea del perfil de estas molduras con todos sus entrantes y salientes y luego de obtenida la figura que así resultaba, cuya era la representación de todo el mentado molduraje sobre la imposta horizontal, se demarcaban los vuelos correspondientes de los ábacos de los capiteles para deducir en seguida según estas voladas las dimensiones del citado capitel así como el fuste y las bases de las columnas destinadas á sostener el riquísimo haz de arquivoltas que componían el objeto principal de la cuestión cual era cerrar el vano.

Lo propio sucedía é igual procedimiento era llevado á cabo cuando de proyectar se trataba una bóveda compuesta de esos nervios principales adornados por molduras al parecer complicadas, nervios que constituyeron la osatura general determinan esos potentes aristones en ojiva, los gruesos arcos torales, los simples formeros y braguetones y que todos ellos concurren interceptándose entre sí al descansar sobre la cabeza del pilar, para después lanzarse con gallardía en el espacio desprendiéndose unos de otros cual otro haz de ramas de palmera que surgiendo del tronco donde estaban aprisionadas buscan su libertad para aislarse unas de otras tomando la forma arqueada que su naturaleza les concede.

Aquí, pues, como en el primer caso la forma impuesta á toda esta combinación de molduras dibujadas con precisión en el plano de montea que este caso representa el plano horizontal superior de la cabeza del pilar, dá el régimen de la forma y dimensiones de éste; pues en dicho dibujo es en donde se podrán fácilmente demarcar los vuelos, las entradas y salidas de los distintos ábacos ó del cordón ó faja de molduras que les sustituya; así también podrá fijarse con verdadero conocimiento de causa los capiteles grandes ó pequeños, los fustes de las columnas, gruesos ó sutilmente delgados y las bases en donde vayan á descansar, todo, detalles que han de informar el conjunto de la pila.

La síntesis de todos estos procedimientos ha sido reconocida por eminencias de nuestro siglo como son los célebres arquitectos *Villard de Honnecourt* y *Viollet le Duc* demostrando el primero en todas sus experiencias hechas que la disposición de las plantas de edificios cubiertos con bóveda, deriva su trazado de la estructura de dichas bóvedas.

Se ha comentado mucho sobre la gran semejanza de carácter del estilo ojival en las distintas naciones en donde se desarrolló, siguiendo las mismas variantes en los distintos siglos en que estos cambios peculiares á cada siglo tuvieron lugar. Atribúyese por varios autorizados autores que bien pudiera tener orígen esta extraña comunidad de ideas esculpidas por el cincel en el material pétreo, á una gran sociedad casi constituída en familia en aquel entonces y conocida con el nombre de fracmasonería.

89. Parece que la institución masónica debe su existencia á una agrupación en forma de hermandad de albañiles y canteros apareciendo de ésta los primeros datos en el siglo VIII. En efecto en esa época colonias de trabajadores se trasladaron de la Galia á Inglaterra. En el siglo X se vé otra sociedad semejantemente organizada y honrada con la presidencia del principe Edvit. En 1277 época de la construcción de la catedral de Strasburgo construía y dirigía la obra una sociedad de francos masones cuales tenían leyes, reglamentos particulares, con distintos grados y que estaban en correspondencia con otras logias de distintos países. Desde el principio ya se infiere que estas agrupaciones eran sucesivamente llamadas para llevar á cabo estos inmensos trabajos que aun hoy admira la generación actual. Lo cierto es que el estilo gótico desarrollado en el número de catedrales construídas en varios y distintos países, ofrece en todas partes una semejanza particular, haciendo comprender una misma unidad de reglas de arte y de principios estéticos imposibles de aparecer tan acordes y casi iguales á no existir una común inspiración nacida de un mismo centro. Estos masones tenían discípulos en el mismo lugar donde trabajaban, allí establecían una logia para mantener incólumes los principios del arte de construir, los cuales tenian reservados, estando celosos de su guarda. (En las memorias eclesiásticas de la iglesia de Utrecht se lee que uno de los obispos en el siglo XI fué asesinado por el padre de un masón llamado Pleber por haber arrancado á éste un secreto *arcanum magisterium*, relativo á un modo determinado de construir los cimientos de una iglesia). Las primeras huellas de la masonería se encuentran en Inglaterra en donde se halla ya constituída en el año 926 en la ciudad de Jork la primera sociedad masónica con el título de hermandad la cual tenía ya establecida una

legislación sobre jerarquías fundadas ya en tradiciones antiguas en la cual se dividian sus miembros en maestros, compañeros y neófitos ó discípulos.

Cuando el maestro Ervino de Steinbach en el año 1277 hubo empezado la catedral de Strasburgo fundó una logia modelo que llegó á ser el centro de las demás establecidas en Europa.

En el intermedio de los siglos XII al XIII estas agrupaciones se organizaron de una manera ostensible.

Un gran número de artistas griegos se refugiaron en Italia durante las turbulencias políticas de Constantinopla y persecuciones dirigidas por los iconoclastas. Estos artistas ingresaron enseguida en las logias y enseñaron á sus hermanos de Occidente los procedimientos bizantinos. En Viena, Zurich, Colonia y otras ciudades llevaron á cabo famosas construcciones y en todas ellas construyeron campanarios que recordaron el famoso de Strasburgo. Concluídos estos monumentos los masones se esparcieron por toda Alemania en donde fueron pregonados por la fama. Para distinguirse de los obreros de las demás agrupaciones formaron estas logias y todas ellas reconocieron por jefe la de Strasburgo que llamaban la gran logia; en 1452 el arquitecto Dotszinger de Worms formó un solo cuerpo de todos los masones de Alemania y les inició en una porción de signos para conocerse mutuamente.

Por un acuerdo general se convino que el arquitecto de la catedral de Strasburgo fuese el gran maestro, único y perpetuo de los hermanos masones de Alemania. Todos los hermanos contraían entre sí el compromiso solidario de hospitalidad y de mutuo socorro, lo que les permitía hacer viajes largos con poco estipendio. Estaban divididos en grupos de á diez hombres dirigidos por otro que era el jefe ó maestro, en general vivian alrededor de los edificios que construían y concluido el trabajo iban á buscarlo á otra parte. Estaban secundados por el pueblo que cargaba con sus materiales y auxiliados por los potentados que les gratificaban en dinero ó especie.

Los arquitectos de todas estas construcciones religiosas habían adquirido según vemos, todos sus conocimientos en un mismo centro, una misma escuela, se regían por unas mismas leyes y principios, sostenían frecuentes relaciones consultándose mutuamente aunque estuvieran separados al

hallarse en distintos países de modo que cualquier adelanto, perfección ó novedad en el arte de construir era inmediatamente difundido siendo al poco tiempo de propiedad exclusiva de toda la sociedad masónica la nueva conquista adquirida ya al arte ó la ciencia. Así pues esto explica fácilmente la posibilidad de que monumentos levantados en muy diversos y distantes países ofrezcan tan gran semejanza hasta el punto de creerlas obras de un mismo autor.

90. Antes de cerrar este periodo histórico merece que hagamos mención del famoso arquitecto que floreció en el siglo XVI, Filiberto Delorme, pues aparte de su innegable mérito como artista, reune la gran particularidad de haber sido el primero que publicara un libro y que en él se detallara y expusiera el arte del corte de la piedra. Fué en el año de 1568 que publicó la obra con el nombre de *Tratado de Arquitectura*. En ella continúa una serie de procedimientos estereotómicos y que intitula: *Trazados geométricos que demuestran los sistemas para cortar y labrar las piedras*. El mérito de Filiberto Delorme fué en su tiempo haber aplicado y modificado los entonces antiguos métodos, para adoptarlos á las nuevas disposiciones que en aquel entonces habían ya aparecido y que más adelante habíase de dar en su conjunto, considerado como estilo, el nombre de Renacimiento. Delorme, lo mismo que sus contemporáneos, tenía una convicción arraigada de que su arquitectura era el resultado de una nueva restauración de los antiguos estilos clásicos. Refiriéndose á las bóvedas góticas, dice: "Hoy día los que están poseídos de la verdadera Arquitectura no se adaptan á las construcciones de estas bóvedas, cual sistema de construcción es calificado por nuestros obreros por moda francesa, y al decir esto, no está en mi ánimo el desmerecerlas, antes al contrario he de confesar que, con su auxilio, se han llevado á cabo obras difíciles é importantes."

Filiberto Delorme nació en Lyon en el año 1518 y murió en el 1577. Sus aficiones le llevaron á profesar el arte de la construcción, alcanzando en su práctica gran celebridad aunque quizá bajo el punto de vista de gusto, inventiva é inspiración artística, no llegó á igualar á su contemporáneo el arquitecto Pedro Lescot.

A la temprana edad de 14 años marchó á Roma para emprender sus estudios á la vista de los grandes monumentos de

la antigüedad en donde tuvo por gran protector á Marcelo Cevino, gran personaje que después fué Papa bajo el nombre de Marcelo II; éste, lo recibió en su palacio, contribuyendo en gran manera á la educación del joven artista, que, descubriendo ya un gran ingenio dejaba concebir grandes esperanzas. Nutrido ya con sus grandes estudios y trabajos y de los muchos dibujos de los grandes edificios romanos é impuesto de todos los conocimientos de su difícil, cuanto hermosa profesión, volvió á sus patrios lares, teniendo la fortuna de que se le encargara enseguida la construcción de la fachada de San Nazario, obra por cierto interrumpida, en razón de haberle llamado á París el Cardenal Velley; éste, lo presentó ensegida á la Corte de Enrique II y allí, teniendo noticia de lo mucho que podía Filiberto en el ejercicio de su profesión, le confiaron muchos trabajos de importancia en Fontainebleau, en Meudon y en el castillo d'Anet; una de las más preclaras obras de Delorme fué el panteón de los Valois en Saint Denis.

Catalina de Médicis le confió el proyecto del palacio de las Tullerías, en cuya construcción desplegó su gran ingenio, pregonando la fama, la belleza y rica ornamentación que desplegó en aquella regia morada, existiendo hoy muy poca cosa de lo que se hizo en aquella fecha, en virtud de los muchos cambios y reformas que se han sucedido quedando solamente al autor la gloria de haber sido producto de su imaginación uno de los más grandes edificios de la Francia.

Aparte del mérito de Filiberto Delorme como hábil arquitecto, debe también en mucho la fama de que goza por sus obras publicadas cuyas son: el *Tratado de Arquitectura*, en donde expone los conocimientos que entonces se tenían del arte de cortes de piedra, cabiéndole la gloria de ser el primer autor que ha escrito sobre esta materia. Su otra obra se titula: *Nuevas invenciones para construir bien y con economía*, trabajo lleno de erudición y fuentes de conocimiento que demuestra la mucha práctica del autor al detallar hasta con nimiedad los varios métodos y recursos que se empleaban en todas las esferas del arte de construir.

Finalmente, lo que ha dado más el sello de la celebridad al nombre de Filiberto Delorme ha sido su invención de los grandes cuchillos de armadura, compuestos solamente de fragmentos de tablas ensamblados entre sí de una manera ingeniosa, á la vez que económica.

La escasez y la carestía de maderas de grandes dimensiones, necesarias para la composición de los cuchillos de gran luz, inspiraron á este célebre arquitecto la idea de su sistema.

91. Renacimiento. — *Barroquismo. Segunda restauración. Época contemporánea.*—Al estilo ojival sucedió de una manera repentina, aunque expontánea y franca, el del Renacimiento. No hay ejemplo de un cambio tan radical sufrido en las varias y progresivas fases con que ha pasado la Arquitectura, máxime cuando las variantes han tenido lugar casi instantáneamente, comparación hecha con el largo tiempo transcurrido en épocas anteriores para el paso de una á otra manifestación, haciéndose, como si dijéramos, la metamórfosis de un modo sucesivo pero lento y dependiendo de las circunstancias y necesidades que durante el lapso iban sobreviniendo, hasta llegar el tiempo oportuno que adquiriera nueva vida y modo de ser propio. Nunca como ahora se puede observar el cambio inusitado de las formas arquitectónicas, mediante las grandes diferencias que separan uno de otro estilo, y es que, quebrantando las leyes naturales con que las sociedades se habían regido inconscientemente en los tiempos anteriores, haciendo que cada estilo fuese consecuencia lógica del precedente, pero cuyas cambiantes les daban nuevas exigencias reclamadas por los tiempos, localidades, climas y distinto modo de ser de los pueblos.

La serie no interrumpida de inesperados y trascendentes acontecimientos ocurridos en el siglo XV, dieron lugar á importantes transformaciones y cambios en todas las esferas de acción que informaban la sociedad. El espíritu de investigación que cundía por doquier, los atrevidos viajes en pos de felices descubrimientos hacían entrever la prosperidad de las naciones, los sabios producían increibles adelantos dando impulso á las ciencias, á las artes, á todos los ramos del saber humano; el poder real se consolidaba á la par que los señores feudales perdían su pujanza dando con esto más autonomía á los pueblos. Estos, antes aislados, contando no más con sus propios recursos, tendían ahora á aproximarse recíprocamente aumentando sus relaciones y hasta enlazándose, creciendo así su poderío; finalmente, el examen y afición desarrollada por todo lo antiguo, velado hacía mucho tiempo por el período de la Edad-media, todo ello contribuyó á este cambio tan maravilloso en las ideas, instituciones, gustos y

aficiones artísticas, alcanzando también á los sentimientos morales En conformidad con todo lo que sucedía, también se experimentó una decidida afición y estudio hacia la literatura clásica llegando á vulgarizarse en sus prácticas; reinando las letras antiguas que salían nuevamente remozadas hasta ser acreedoras á que su nueva aparición fuera bautizada en la época que tal se hiciera, con el nombre de Renacimiento. Por analogía y circunstancias idénticas ocurridas en el arte arquitectónico, es por lo que se llamó Arquitectura del Renacimiento, la nueva faz que tomó el arte de Vitrubio al dar sus últimos reflejos el estilo ojival.

El fenómeno producido por la aparición del Renacimiento, se halla explicado en las evoluciones con que pasaba la entonces sociedad moderna, en sus progresos y en su regeneración moral y política La inteligencia sustituía á la imaginación, la materia al espíritu, las formas al sentimiento, la imitación á la originalidad; finalmente, el clasicismo romano y griego, á la inspiración religiosa del arte cristiano en la Edad-media.

92. Italia fué la que proporcionó los elementos para que se constituyera el estilo del Renacimiento en las demás naciones, obedeciendo esto á hechos y circunstancias bien naturales. Allí fué donde perseveró la práctica de las antiguas tradiciones favoreciéndolo así la vista perenne de tantos monumentos diseminados en aquel suelo, impidiendo con esto que el arte ojival se arraigara, cual fructífero en los demás países.

Descúbrense los primeros destellos del nuevo estilo en la iglesia de Santa María del Fiore en Florencia empezada en el año 1298, por Arnolfo de Lapo; aquí las formas piramidales y las múltiples siluetas de que se vale el arte ojival, son sustituídas por las sencillas y severas masas romanas; el sistema de las líneas verticales viene á reemplazarse por las horizontales, (cuales en los edificios privados se avienen mejor con el sistema de distribución de los distintos altos) el arco de medio punto absorve al apuntado, así como el agrupamiento de las cúpulas reminiscencia del estilo oriental, se prefiere á las atrevidas y esbeltas agujas, pináculos y aéreas flechas que llenan el espacio superior en donde surje el edificio ojival. A Arnolfo, no le es dado dar término á la mayor parte de sus construcciones por la gran extensión con que las

concibiera, encargándose de concluirlas el tan célebre arquitecto Brunelleschi.

93. Era Brunelleschi eximio arquitecto y escultor de valía y para apreciarlo en primer lugar bastaría solamente considerar uno de los más importantes trabajos llevados por él á cabo, cual es la famosa cúpula de la catedral de Florencia, Santa María del Fiore, así como la influencia que todo este edificio tuvo para el Renacimiento de la antigua Arquitectura.

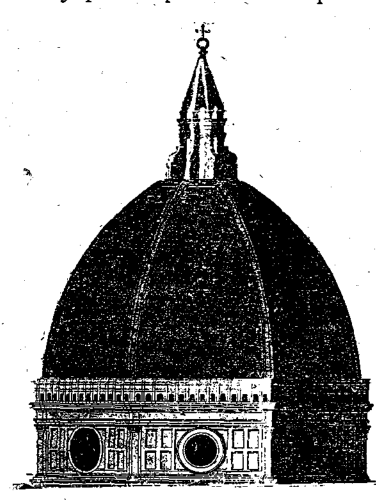


Fig. 99.—Cúpula de Santa María del Fiore en Florencia.

A Florencia estaba reservada la gloria de ser cuna de Felipe Brunelleschi que debía llevar á la Arquitectura á la primitiva elegancia y magnificencia. Bruneleschi nació en el año 1375; su padre era notario. Precisa conocer las circunstancias que presidieron en la educación del joven artista para tener una idea y comprender como una serie de combinaciones pueden, hasta cierto punto, influir en los rumbos que tomó el arte, ejercido más tarde por el artista de que se trata. Ya de niño se vislumbraban sus constantes aficiones en todo lo que relacionarse podía con las Bellas Artes y las ciencias exactas, y en vano su padre intentó combatir semejante inclinación, hasta que finalmente lo hizo entrar en un taller de platería y joyería en Pistoja al lado de un maestro que sobresalía en el citado arte. En aquella época, este arte era considerado, especialmente en Toscana, como estudio fundamental de la escultura, formando parte integrante de la misma, especialmente en sus comienzos. El joven Brunelleschi en sus ócios modelaba estatuas, inventaba máquinas y siempre sus estudios tenían por objeto principal la Arquitectura. Leía y comentaba la Biblia, así como se entusiasmaba con la Divina Comedia, estudió con

provecho la Geometría y la Perspectiva, enseñando la primera al célebre Toscanelli y siendo maestro de la segunda del no menos célebre Masaccio el primer pintor que la aplicó á los trabajos de su arte. Distinguióse de una manera notable en el labrado de una porción de estatuitas de plata, admiradas de tal modo por el renombrado Donatello, que se debió á ello se estrecharan los dos artistas con lazos de una constante amistad. Concurrieron ambos con otros siete artistas para optar al premio que debía obtener el mejor modelo de las puertas de San Juan de Florencia; pero viendo el trabajo presentado por Lorenzo Ghiberti como reconocieron su superioridad retiráronse del concurso. Trasladáronse entonces los dos amigos á Roma, y entonces dedicóse exclusivamente Brunelleschi al estudio de los antiguos monumentos prodigando sus reminiscencias en todos sus proyectos logrando en su estudio á distinguir los tres órdenes de Arquitectura así como á fijar sus proporciones. Vuelto á Florencia, la iglesia de Santa María del Fiore no estaba terminada, pues Arnolfo de Lapo ya había fallecido un siglo antes, no habiendo por lo tanto podido cubrirla. Acariciando el artista la gloria de la terminación de semejante obra, dedicóse de un modo especial al examen y estudio de semejante trabajo, acudiendo á su tiempo á un congreso de entidades artísticas y científicas que entender debían de tan importante asunto; allí presentó un proyecto de tanta novedad y atrevimiento tal en su construcción, que los prácticos en tales trabajos daban por imposible la realización, diciendo que tal osadía podía pasar para dibujada, pues sólo se sostenía la construcción en el papel en donde se representaba, pero que no era dable dar forma corpórea en el espacio reuniendo la debida solidez, al proyecto presentado por el genio del arquitecto florentino á quien calificaban de rematadamente loco. ¡Extraño y especial destino de los grandes hombres que con su genio se sobreponen al siglo en que nacieron! Prescindiendo y corriendo un velo á los innumerables obstáculos, contratiempos y disgustos que tuvo que pasar Brunelleschi para acallar primero los errores de todos y malquerencia de los envidiosos y luego las controversias de émulos y contrarios; solo consignaremos, que finalmente logró fuera un hecho la realización de la cúpula de Santa María del Fiore; llamada en aquella época á semejante construcción, *milagro del arte*. Bastará conocer las dimensiones de semejante bóveda para hacerse cargo de su importancia: 42 metros de diámetro, 110'88 metros desde el plan terreno hasta la cruz.

Con la hábil combinación de los arcos, manifestó los recursos de su ciencia como á constructor, así como difundiendo el sencillo y magestuoso carácter de los monumentos antiguos fué considerado como el reformador de la arquitectura y el regenerador del buen gusto, preparando expedita vía á León Battista Alberti, á Bramante, á Peruzzi, á Sangallo, á Vignola y á Palladio

Demostró en aquella ocasión cuanto superaba á sus contemporáneos, tanto en la escultura de las obras, en el cálculo de las mismas, así como en el sistema especial que tenía de ir elevando las construcciones por medios ingeniosísimos, que ahorraban gran fatiga á los operarios. Entre las obras que legó su ingenio, bastará señalar la Iglesia de San Lorenzo, el palacio Pitti, cuya última obra no pudo terminar. En Fiesole construyó la Abadía de los Canónigos la cual costeó Cosme de Médicis, llegando á desembolsar cien mil escudos. Miguel Angel refiriéndose á la obra maestra (La Cúpula de Santa María del Fiore) de Brunelleschi dijo: *difícil es imitarlo é imposible excederlo.*

Se distinguió también en la arquitectura militar, él fué el autor de las fortificaciones de Vico, Pisano en 1406 y de la ciudadela edificada en Pisa. Visconti lo llamó para que se encargara de la construcción del Castillo de Milán. Hácia el año 1442 entregó á Alejandro Sforza el dibujo de la Roca de Pésaro que luego fué edificado después de su muerte que tuvo lugar en 1444. Finalmente se ocupó con especial atención de la Mecánica dejando una curiosa relación y estudio sobre la cúpula del Duomo de Florencia, cuya armadura dió á luz el senador Nelli en 1763. Merecen singular atención los dibujos titulados *Construcción de los puentes antiguos y modelo del puente Cesariano*, esto es, del puente que César echó sobre el Reno. En este estudio aparece claramente su competencia sobre la Mecánica Militar.

94. Pasando en revista las construcciones bajo el punto de vista puramente estereotómico se infiere que en esta época del Renacimiento, se echaba mano de los mismos problemas que en la época anterior, abstracción hecha tan solo de aquellas construcciones que por su naturaleza especial imprimían el sello característico del estilo. Así continuaron las bóvedas

por aristas, los cañones seguidos, toda clase de escaleras abovedadas, cañones en bajada, etc., etc., más no hay duda que uno de los rasgos característicos del estilo de que se trata es en particular para los edificios religiosos, la cúpula y aunque su construcción no se hace depender la mayor parte de veces y en los casos más principales, de material pétreo, precisa no obstante que nos fijemos por un momento en su forma característica empleada análogamente después de haberse realizado la obra maestra del celebrado Brunelleschi. Se comprende fácilmente que este especial modo de construcción para cubrir grandes espacios circulares ó poligonales había de empezar á tomar algún desarrollo después de haber aparecido las bóvedas ordinarias. Entre los romanos es pues forzoso ir á buscar el orígen de la cúpula así como seguir su sucesivo desarrollo y progreso de este famoso detalle arquitectónico que proporciona después del Renacimiento uno de los más principales motivos de decoración fundados en los mismos elementos constructivos.

Casi todas las antiguas termas tenían alguna sala circular cubierta con bóveda esférica: las de Caracalla, Tito, Constantino, Diocleciano, todas ellas ostentaban semejante detalle; hasta el famoso edificio conocido con el nombre de Panteón no dejaba de ser una de las dependencias de las termas de Agrippa También hay motivos para creer que cubrían con semejante bóveda los templos circulares ó poligonales, dado por admitido como á tal el edificio conocido con el nombre de Minerva-Médica. Sea como fuera el uso que los antiguos hicieron de esta forma de cubierta, el hecho es que después del establecimiento del Cristianismo, los arquitectos lo emplearon en las iglesias constituyendo una parte principal del edificio, surgiendo con él un medio de construcción á la par que de decoración tanto interna como externa.

En su lugar correspondiente se ha hablado ya de las cúpulas de Santa Sofía y San Vital.

Tiempo después se dió más gallardía á la cúpula elevándola á mayor altura para armonizar mejor con la decoración externa, pero en lugar de dejar aparente el casquete esférico, se elevó á mayor altura el tambor cilíndrico que insistía sobre las pechinas coronándolo con una cubierta ó armadura de madera afectando exteriormente la forma de cúpula. Pertenece á esta clase la de la basílica de San Marcos en Venecia.

En la arquitectura gótica se terminaban algunas cúpulas en forma piramidal, más ó menos pronunciada, como en la catedral de Bonne, la de Milán, terminándose también así alguna que otra de la época del Renacimiento, como en la Cartuja de Pavía.

Este detalle arquitectónico fué acentuándose hasta la exageración, por algunos arquitectos de los siglos XVII y XVIII, y en especial Borromini y el P. Güarini, cuales emplearon tanto para la superficie de intradós como para la de extradós unas formas muy raras y extrañas, como demuestran la de las iglesias de San Lorenzo y la de la capilla Sacra Sindone de Turín.

Brunelleschi concibió la idea de la doble cúpula en la mentada de Santa María del Fiore logrando así tanto el efecto exterior elevando altura y el efecto interior disminuyendo distancia al punto de vista El artificio de la doble cúpula consiste en separar el intradós del extradós mediando un espacio entre los dos, disponiendo en él la escalera para ascender al punto culminante.

Miguel Angel, acariciando la idea de aumentar las dimensiones del proyecto de Bramante y de Antonio de San Gallo proyectó la inmensa cúpula de San Pedro del Vaticano, cuya obra no más llegó á construir hasta alcanzar la imposta de la bóveda pero que concluyeron sus sucesores Jaime della Porta y Domingo Fontana; aunque sufriendo un cambio de bastante consideración, por el mayor peralte que se dió al casquete exterior, el cual en lugar de obedecer al medio punto su meridiano generador, vino á tomar la forma de arco quebrantado, que así armoniza mejor con las proporciones generales tanto más en cuanto se corona á la misma cúpula por medio de una linterna. De emplear la forma esférica, ésta hubiera quedado deprimida por la construcción del apéndice en forma de linterna, al paso que al escoger el esferoide ó forma ovoidea, ésta queda mejor consolidada con aquel cilindro supletorio, pues la acción de la bóveda, al reaccionar sobre la clave, queda así más neutralizada. Esta modificación pertenece por entero al citado della Porta quién modificó la sección exterior mediante permiso especial de Sixto V obteniendo un resultado sumamente favorable pues ha sido la constante admiración de propios y estraños. Sobre esta bóveda (Fig. 100 y Fig 101) dice el arquitecto Garnier: "El basamento en donde se apoya la cúpula tiene una disposición

y rige en él un orden muy bien comprendido, las columnas están colocadas en su debido lugar, los huecos perfectamente proporcionados en forma y dimensiones según el sitio en donde van á ser colocados y los vuelos de cornisas y molduras se combinan con buenas proporciones con los demás detalles que rodean; pero la cúpula en sí misma es la parte excepcional que llama poderosamente la atención, dominando el conjunto; y es que la curva dada por generatriz á la cúpula tiene un trazo tal que encanta, seduce y hace de este remate, único en el mundo, una obra sin rival, una creación de una majestuosa armonía; es precisamente esta curva que tantas veces

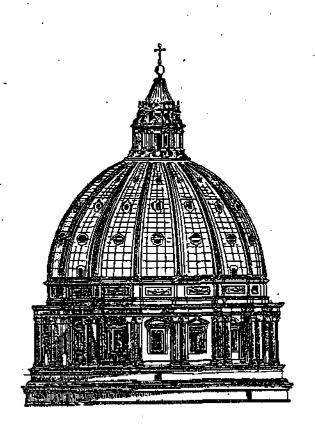


Fig. 100.
Exterior de la Cúpula de San Pedro en Roma.

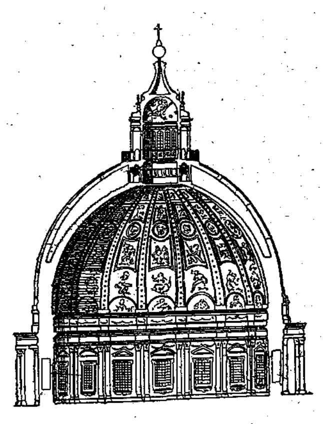


Fig. 101.
Corte de la Cúpula de San Pedro en Roma.

y por distintos genios se ha estudiado, llamándola ya catenaria, ora parábola, luego elipse y que pudiendo tener algo de todas ellas, viene no más en difinitiva á ser una verdadera curva de sentimiento encontrada en momento lúcido por el genio del artista.“ El sistema de Brunelleschi, llevado á cabo en la cúpula de Santa María del Fiore, pudo el arquitecto della Porta, desarrollarlo de un modo muy acertado en la iglesia de San Pedro. Ya se había observado que si una cúpula mirada por la parte exterior adquiere un aspecto más imponente á medida que es más considerable su elevación, sucede todo lo contrario si se la observa por su parte interior pues la vista queda fatigada por la dificultad de la disposición

del punto principal que obliga á mover la cabeza levantándola y variando de una manera continua los puntos de fuga, dándonos así perspectiva deformada, sucediéndose á cada momento bruscas interrupciones que impiden ver todo lo que se desea. Es que Brunelleschi, para remediar este inconveniente, imaginó dos cúpulas, encajadas ó embebidas por decirlo así, la una con respecto á la otra, pero aisladas y á distinto nivel y así estas pueden reemplazar perfectamente á la cubierta de cúpula sencilla que antes se empleaba.

Con esta disposición se comprende fácilmente como el artista tiene ya el camino franco, expedito, para escoger el galbo que más le plazca para la curva exterior, independiente ésta de la curva más deprimida que se escoja para el interior. Estas dos curvas, si bien parten unidas en un solo macizo desde el arranque, sin embargo, á partir del cual y á una pequeña distancia, se desprenden entre sí y van separándose más y más á medida que se elevan. Esta separación alcanza en su máximo de 3'30 metros en la cúpula de San Pedro de Roma.

El método de construcción de las cúpulas es muy distinto de las demás bóvedas, pero sea cual fuere su diámetro, el sistema de construcción es el mismo para las de su clase. Esto es, sobre los cuatro machones situados en los ángulos del cruce de los brazos de la cruz, descansan cuatro arcadas de medio punto dejando entre sí los espacios triangulares que constituyen las pechinas; levantándose enseguida sobre todo este sistema de construcción el cilindro que forma el tambor, éste á su vez recibe la bóveda esférica, levemente peraltada; atención hecha á la imposta que oculta parte de la curvatura, cuya propiedad y disposición tenían en cuenta los arquitectos de aquella época al objeto de que desde el punto de vista pudiérase dominar toda la parte semiesférica. En cuanto á la parte externa se construía con otra bóveda, pero ésta era esferoide elíptico ó levemente apuntado de más ó menos altura, según el efecto perspectivo que se proponía el autor del proyecto y según también la extensión que ocupaban los brazos de la cruz. Relativo á este asunto se pretendía que el efecto de la cúpula resultaba mucho mejor si estaba establecida en el cruce de una cruz griega, cuya reunión de masas iguales en la planta se presta mejor á que se descubra en un basamento uniforme y regular, enlazando con la construcción superior en preferibles condiciones perspectivas. En la cruz

latina la mayor extensión de la nave del centro ó longitudinal impide algún tanto de dominar desde la parte exterior el cilindro que constituye el tambor, lo cual produce un pésimo efecto y al parecer asemeja que la cúpula está sostenida al aire. Este defecto se encuentra en San Pedro de Roma achacándola á la impericia de Carlos Maderno, el cual alargó la nave longitudinal destruyendo el conjunto armónico que en aquel soberbio edificio había desarrollado Miguel Angel.

95. Es la basílica de San Pedro de Roma uno de los ejemplos más notables que ostenta el Renacimiento, habiendo intervenido en su construcción varios arquitectos. Derribóse la antigua basílica de San Pedro por amenazar inminente ruina, llamando el papa Julio II al arquitecto Bramante para que desarrollara en su estudio un nuevo proyecto, de modo que en él presidiera por las dimensiones, riqueza é importancia de la construcción, las condiciones requeridas para ser el templo principal del orbe cristiano.

El trazado del proyecto de Bramante estaba constituído por una cruz latina separadas sus naves por pilares de forma rectangular adornados sus paramentos por hornacinas, los hemiciclos con que terminan los brazos de la cruz y el testero de la nave longitudinal, estaban cubiertos con bóvedas esféricas, cubriendo finalmente el crucero por una grandiosa cúpula rodeada de un pórtico exterior. Un inmenso pórtico ocupaba toda la fachada. Se supone que la disposición general de este monumento con las dimensiones colosales que tenía armonizados con una sencillez de estilo que á la par de gran elegancia habían de producir la obra más admirable y bella que en su género se había hecho hasta entonces. Más la impaciencia del Pontífice como del arquitecto en dar pronta terminación á semejante trabajo, fueron causa de los fatales resultados que dió la referida construcción.

En el año de 1514 una vez terminados los hemiciclos y echados los cuatro arcos torales que habían de sostener la cúpula, aparecieron una porción de grietas en varios puntos del edificio, acrecentándose los temores de una inminente ruina. Tamañas contrariedades ocasionaron disgustos de consideración al pundonoroso Bramante mellando profundamente su ánimo á consecuencia de lo cual contrajo una rápida enfermedad que le llevó al sepulcro el mismo año de acaecer semejante accidente.

A la sazón ocupaba el trono pontificio el papa León X el cual nombró como á sucesores de Bramante, á tres arquitectos que fueron Fray Giocondo, Julián de Sangallo y Rafael, este último propuesto precisamente por el mismo Bramante al cesar en la dirección. Estos, antes de continuar la construcción se dedicaron con ahinco á consolidar, reforzando lo construído y bien pronto las circunstancias impidieron pudieran proseguir el trabajo que se les hubiera confiado por haber sobrevenido el fallecimiento de los dos primeros; en su consecuencia fueron llamados Baltasar Peruzzi y Antonio de Sangallo quienes reforzaron los pilares y cambiaron la cruz primitiva de la planta adoptando la forma griega; el proyecto fué acogido con bastante éxito y según se desprende era debido muy principalmente al Antonio de Sangallo quien por desgracia bajó también á la tumba cuando dicho trabajo estaba ya en vías de ejecución.

Era llegado el año 1546 y las obras construídas no solamente estaban muy lejos de ser terminadas sino que también se notaba en ellas una gran falta de unidad á consecuencia de haber intervenido en las mismas tantos arquitectos.

Llamóse finalmente á Miguel Angel quien de momento se resistió á aceptar semejante empresa por las grandes dificultades y compromisos que en sí llevaban siendo preciso interponer toda la autoridad papal para decidirle á aceptar semejante cargo. Tenía á la sazón 72 años.

El objetivo principal de este artista fué la construcción de la gran cúpula y juzgando sabiamente que una extensa nave ocultar debía haciendo perder el efecto perspectivo de dicha cúpula, adoptó resueltamente la planta en forma de cruz griega la misma que habían propuesto sus inmediatos antecesores, pero sin admitir los otros detalles propuestos y suprimiendo los que creyó inútiles y dando unidad á las masas parciales. Las construcciones elevadas por Sangallo fueron derribadas y los pilares de Bramante potentemente reforzados.

Apesar de su reconocido genio activo y perseverante hubo algunas interrupciones en las obras á causa de la carencia de recursos económicos, alcanzando con esto la muerte de tan insigne artista en el año de 1564 contando la avanzada edad de 90 años.

En dicha época faltaba construir la cúpula todo el pórtico y parte del ramal inferior de la cruz.

Finalmente llamóse á tres nuevos arquitectos Vignola, della Porta y Fontana, quienes de común acuerdo dieron gran impulso á la obra dejando en suspenso la fachada y la parte de la nave adjunta á ella; en razón de no satisfacer bastante su proyecto á las exigencias de las entidades que intervenían entonces en el Vaticano. Así se terminó la cúpula siendo della Porta el que llevaba principalmente la iniciativa entre sus compañeros y á quien especialmente se debe el sistema de construcción de la famosa cúpula y de que anteriormente hemos hablado.

En tales circunstancias Pablo V hizo un llamamiento á los más hábiles arquitectos para que acudieran con estudios de fachada á propósito para la construcción que estaba en pie, escogiendo el del arquitecto Carlos Maderno. En este proyecto se sustituía al pórtico anterior un gran vestíbulo, las columnas se embebían en el muro en lugar de dejarlas aisladas y se colocaba sobre el vestíbulo y en el centro de la fachada una preciosa galería destinada á tribuna á propósito para que en ella pudiera presentarse el Papa para echar las bendiciones á la grey católica.

A consecuencia de las observaciones que se hicieron en aquella época, relativas á que la cruz griega no respondía tanto como la latina para las ceremonias del culto, y que en esta iglesia debiendo ser la primera del mundo católico contaría con menos capillas que las otras; todo esto fué bastante para que el arquitecto Maderno se decidiera á prolongar la nave longitudinal añadiendo á la misma tres arcadas semejantes, á las que Miguel Angel había ya establecido, reservando á ellas otras tantas capillas. El vestíbulo y la fachada que se habían proyectado se añadieron á dicho apéndice quedando la planta en forma de cruz latina.

Maderno tuvo por sucesor al arquitecto Bernini, siendo su primera obra el magnífico baldaquino de bronce del altar mayor; más bien pronto, accidentes sobrevenidos á otras construcciones adjuntas á la basílica, fueron causa que Bernini cayera momentáneamente en desgracia, entrándole á sustituir Borromini, quien no estaría quizá muy acertado en sus trabajos cuando al poco tiempo al subir al Pontificado Alejandro VII fué llamado otra vez Bernini, quién llevó á cabo y fué autor de los magníficos pórticos exteriores que preceden y dan gran realce al edificio. En este, las dimensiones son colosales teniendo en cuenta los siguientes datos: longitud interior excepción hecha del vestíbulo, 185 metros; la que corresponde al crucero contándola desde el fondo de uno á otro hemiciclo 137 metros; el ancho de la gran nave 27 metros; los pilares que separan la nave central de las laterales tienen un ancho de 9'46 metros; las arcadas que se apoyan sobre ellos tienen 13'26 de luz; el diámetro interior de la cúpula 42'60 metros; los pilares que la sostienen 20 metros de espesor. La altura del punto culminante de la cúpula hasta el plan terreno de la iglesia es de 101 metros. El período de la total construcción alcanza á 150 años con la sucesión de 22 papas habiendo intervenido 13 arquitectos y según los cálculos de Fontana se llegaron á invertir 251.450,000 pesetas.

La iglesia de San Pedro en Roma vino á ser como un tipo sobre el cual tomaron modelo los artistas constructores de las iglesias levantadas en los siglos XVII y XVIII adoptando la forma de cruz latina, empleo de pilastras, la bóveda en cañón seguido y la cúpula central; sobre todo en este último detalle fué el sello principal y característico de esta clase de construcciones, entre las cuales se cuentan San Jorge de Venecia, obra de Palladio, la del Panteón francés ó sea Santa Genoveva de París de Germán Souflot, la de San Pablo de Londres de Cristóbal Wren, la del célebre monasterio del Escorial de Juan de Herrera.

96. ¡El Escorial!—¡Qué de recuerdos no se agolpan á la mente al pronunciar este nombre que reasume en sí las pasadas grandezas y poderío de la más magnánima de las naciones! Tres y medio siglos van á transcurrir y desde entonces vienen unidos en indisoluble lazo el Escorial y la memorable y gloriosa fecha del 10 de Agosto de 1557.

En este día consagrado por la iglesia á Lorenzo el santo mártir español, el ejército de Felipe II á las órdenes de Filiberto duque de Saboya, alcanzó en San Quintín la victoria que ha tenido más resonancia en los anales de las batallas, victoria de gran trascendencia para la pujanza y fines políticos del monarca. No quiso éste ser ingrato, y animado de un deseo y fervor ardiente para conmemorar de un modo perenne un acaecimiento tan glorioso, que á la vez su nombre fuera unido al del santo que habíale colmado de ventura tanta, decidió levantar el grandioso y magnífico monumento que había de asombrar al mundo entero, hasta el punto de alcanzar para sí la octava maravilla.

Mediando la circunstancia, de haber pasado el emperador Carlos V sus últimos años en vida austera y monástica con los PP. Jerónimos y dejar á libre elección á su hijo Felipe, el lugar donde habían de ser depositados sus mortales restos, hizo se construyera el monasterio para la orden de los Jerónimos, incorporando á él el panteón de su padre que también había de servir para los sucesivos reyes de la nación española. Así quedaban fieles guardianes de los despojos del emperador los mismos que en vida le habían acompañado en su vida ascética y en sus pláticas religiosas.

Procedióse á la elección de hábil arquitecto cuyo nombre y fama correspondiera á obra de tanta importancia, habiéndose favorecido para tan elevado y honroso cargo al ya célebre Juan Bautista de Toledo (*) que á la sazón se encontraba en Nápoles haciéndole venir para que procediera desde luego á la formación y estudio de los planos encargándole que respondieran en su disposición y carácter al doble objeto de monumento monástico y sepulcral. Cumplida ya la misión

(*) El arquitecto Juan Bautista de Toledo se le creyó por algún tiempo nacido en la ciudad cuyo nombre lleva, tomando según esto el apellido por apodo, así lo aseguraba el arquitecto Juan de Arfe contemporáneo de aquél, más según se desprende de los datos proporcionados por otros escritores como Gil González, León Pinelo, Juan Quiñones y el licenciado Porreño arguyendo al susodicho Arfe prueban sobradamente que puede enorgullecerse la villa y corte de Madrid de ser el lugar donde vió la luz primera nuestro famoso arquitecto.

Habiéndose impuesto con bastante provecho no solamente de la educación elemental sino también lo que alcanzaba entonces la superior é impuesto de todo lo que en el arte arquitectónico se podía aprender en nuestro suelo marchó á completar su educación artística, á la cual demostraba decidida vocación, aposentándose en Roma continuando enseguida sus estudios examinando con fé ciega las venerandas ruinas con que la ciudad eterna está engalanada y tomando por maestros los principales artistas que á la sazón más florecían. Mucho de provecho había de hacer Bautista de Toledo toda vez que parece trabó íntimas relaciones con el gran Miguel Angel quien lo creyó bastante hábil para que fuera su ayudante aparejador en las obras del Vaticano trabando entre los dos estrechas amistades. Gil González nos dice «que ejecutó buena parte de la fábrica de San Pedro.» Pinelo nos dice que era conocido en Roma por el *valiente español*. Pasó luego á Nápoles en donde se estableció y hasta llegó á adquirir propiedades. Fué llamado por el virrey D. Pedro de Toledo marqués de Villafranca quien amante y protector de las Bellas Artes, se propuso emprender el ornato de la ciudad valiéndose de persona entendida y artista de valía que le secundase. En este concepto se le confió la construcción y traza del palacio de los Virreyes, una iglesia dedicada al apóstol Santiago, en el coro un magnífico sepulcro con figuras de bajo relieve, trabajadas por el célebre escultor Juan de Nola; y finalmente una calle que aún conserva el nombre de la calle de Toledo. Obtuvo del emperador Carlos V el título de director de las obras reales de Nápoles.

Contrajo allí matrimonio con Ursula Jabarria que le llevó algún dote y tuvo de ella dos hijos.

Fallecido el emperador Carlos V y deseando su hijo Felipe II dar fiel cumplimiento á lo dispuesto por su padre para con respecto á la construcción de las regias sepulturas, así como por otra parte queriendo recordar la batalla de San Quintín concibió, desde luego la construcción de un suntuoso edificio, para panteón de su ilustre progenie. Informado de las eminentes dotes que reunía Juan B. de Toledo lo llamó enseguida trasladándose el célebre arquitecto desde Nápoles á Madrid encomendándole Felipe la dirección de todas las obras reales, entre tanto que se disponía lo principal para que había sido llamado.

Cuéntase que ya establecido en Madrid, recibió un contratiempo fatal que acibaró terriblemente su existencia, quiso traer de Nápoles su casa y familia. Envió á su suegro 600 ducados para los gastos de transporte, que determinó fuese por mar. Naufragó la embarcación: se ahogaron su mujer é hijos, perdiéndolo todo.

Dice D. Eugenio Llaguno con referencia al Escorial y á la historia de Juan Bautista lo siguiente: «Empezados los fundamentos dió el rey en 10 de Agosto una instrucción general para el gobierno de la fábrica, en que previno que los oficiales y maestros, que trabajasen en ella, los hubiese de recibir el maestro mayor con intervención del prior, vicario, veedor y contador, y que fuese maestro mayor Juan B. de Toledo llevándolo á debida ejecución hasta que de todo punto fuese finida y acabada llaves en mano.»

Gratificó el rey entonces á Juan Bautista con dos ayudantes de costa de á doscientos ducados cada uno, pagados en el Escorial y en Madrid, y les asignó cuatrocientos ducados de pensión anual sobre las rentas del obispado de Segovia de los cuales no había cobrado cosa alguna al tiempo de su muerte. A principios del mismo año le había acrecentado el sueldo con otros doscientos ducados, á fin de que mantuviese dos discípulos que le ayudasen en las trazas y modelos, *«que le ordenáremos y se hubieren de hacer para nuestras obras, y á las demás cosas de la arquitectura, y para que en su lugar asistan en las obras que él les mandare.»* Uno de estos discípulos, que había de mantener, fué Jerónimo Gili, y se pudiera presumir que el otro fué Juan de Herrera ó Juan de Valencia sino constase que en el mismo día se concedió separadamente el sueldo de cien ducados á cada uno.

La primera intención del rey fué hacer una casa para cincuenta religiosos y otra igual para sí con la iglesia en medio. Sobre esta idea formó Juan Bautista las trazas de un edificio dórico en un cuadrilongo de quinientos ochenta pies castellanos de oriente á poniente, y de setecientos cuarenta de norte á sur. Dividió este cuadrilongo en tres partes de oriente á poniente; la de en medio para templo, átrio y entrada principal, el lado hacia mediodía repartió en cinco claustros, uno grande y cuatro pequeños, que juntos fuesen tanto como el grande. El lado del norte dividió en dos partes principales, una para aposento de damas y caballeros, y otra que después se redujo á colegio y seminario, para oficinas de casa real y convento. Al oriente sacó fuera de la línea otro cuadro para aposento real, que abrazase la cabeza ó capilla mayor de la iglesia, y así se pudiesen hacer tribunas con vistas al altar mayor. Los claustros menores no habían de tener más que un suelo alto, esto es, un suelo bajo y otro principal con dos órdenes de ventanas; y el claustro grande mayor altura y más órdenes de ventanas á lo exterior. Entre el claustro grande y los pequeños una torre para disimular la diferencia de alturas: de modo que además de las cuatro torres de las esquinas del cuadro, se deberían construir otras cuatro, una en medio de la fachada del norte, otra en la del sur y dos en la de poniente, para que correspondiesen á las dos

que se le confiara, se lanzó la primera piedra del monasterio en el día 23 de Abril de 1563, situándola en el centro de la fachada del mediodía. Esta piedra era cuadrada, grabándose en ella tres inscripciones, una invocando el auxilio divino,

---

de las campanas, que se habían de hacer, á los lados de la capilla mayor de la iglesia al oriente. Así era el modelo de Juan Bautista, que en cuanto á la planta en su extensión y disposición no tenía diferencia sustancial de lo que se vé edificado. En la vida de Juan de Herrera se verá la variación que hizo.

Asistía Toledo en aquella obra el tiempo que se necesitaba para disponer lo que habían de ir ejecutando los aparejadores: en lo demás residía en Madrid y seguía al rey en sus jornadas, dándole alojamiento en los sitios, particularmente en el Escorial, donde le tenía estable. Puede inferirse que desde su venida dirigió las obras del alcázar, mediante que sobre sus fondos se le asignó el sueldo y una ayuda de costa; pero no se le encargaron formalmente hasta que habiendo fallecido Luis de Vega, dió el rey una instrucción en 10 de Agosto de 1563, mandando que Juan B. de Toledo fuese maestro mayor de dichas obras, que fuere de su cargo recibir los maestros y oficiales, que hubiesen de trabajar, comunicándolo con el proveedor, veedor y contador, y que firmase con ellos las libranzas, y tuviese una de las llaves del dinero. Ratificó el rey esta disposición por cédula de 6 de Agosto de 1564, en que dice: *Y es nuestra voluntad que Juan B. de Toledo, nuestro arquitecto, sea maestro mayor de nuestras obras y como tal intervenga en todas las cosas arriba declaradas, y lleve á debida ejecución dichas obras hasta que de todo punto sean finidas..... conforme á las trazas generales y particulares que están hechas, y las que de aquí adelante mandaremos hacer.*

Debe notarse que, sin embargo, de que Juan Bautista era el arquitecto del rey, fué necesario declararle maestro mayor para que interviniese en las cosas referidas. Solo él tenía título de arquitecto y el de maestro mayor le tenían varios. El arquitecto era el inventor ó trazador de una obra, el que proyectaba y ordenaba lo que se había de hacer en ella: el maestro mayor el que después de inventada y ordenada por sí, ó por otro, tenía encargo particular de construirla, reconociéndole por cabeza y obedeciendo sus órdenes los subalternos. Había y hay ocasiones en que estos respetos van separados, inventando uno y presidiendo otro á la ejecución, pero las más veces andan juntos, como sucedió á Juan Bautista en el Escorial y alcázar de Madrid.

Aunque no se sabe que obras hizo en este alcázar, se puede presumir continuó las que en la galería del cierzo había empezado Luis de Vega, pues hay una traza con una nota de mano de Felipe II, que dice: *Hase de pasar á Juan Bautista,* y que diseñó y empezó la galería y torres de poniente. Nada existe, con que importa poco averiguarlo.

Con su dirección se hizo el cuarto que tenía el rey en San Jerónimo, antes que se edificase el Buen Retiro, que es aquel pedazo de habitación que une á la iglesia por la parte de oriente, donde hay un pequeño pórtico sobre columnas. Bajo sus órdenes hizo un holandés, llamado Pedro Janson, los estanques de la casa del Campo para criar pescados exquisitos. Diseñó el palacio que el cardenal de Espinosa, presidente del Consejo real, valido de Felipe II, hizo construir en Martín Muñoz de las Posadas, su patria, y la capilla que erigió allí para su entierro. Otros edificios hay que es dudoso si son suyos ó de Juan de Herrera, como la casa del secretario Diego de Vargas en su villa de Estéban de Ambran, y la excelente parroquia de Villacastín de tres naves, toda de piedra. Por falta de papeles ó poca diligencia de las personas á quienes se pidieron noticias, queda en duda cual de los dos hizo el diseño; pero es fama

otra el nombre del monarca con la fecha de aquel memorable día y la última con el nombre del arquitecto.

---

en aquella villa que fué el arquitecto del Escorial, y que la construyó el de la iglesia de Segovia.

Echada ya la mayor parte de los fundamentos de la obra del Escorial, y empezándose á levantar la montea, que por la torre que llaman del Prior entre oriente y sur, y por toda esta línea, llegaba casi á la mitad de la altura que ahora tiene. Murió Juan Bautista en Madrid á 19 de Mayo de 1567. Había otorgado su testamento cerrado en 12 del mismo, siendo testigos entre otros Juan de Herrera, Juan de Valencia y Jerónimo Gili, y otorgó un codicilio el mismo día que falleció: uno y otro ante Cristóbal de Riaño, escribano del número. No hizo memoria de sus padres ni patria. Se mandó enterrar en la iglesia de Santa Cruz, comprando para ello sus albaceas una sepultura, sobre la cual se pusiere una lápida de mármol con un letrero que dijese su nombre y el día de su fallecimiento, y que fuese en el coro y se hiciese un altar embebido en la pared con un arco, donde se celebrase misa, poniendo en él un cuadro al óleo con la imagen de Nuestra Señora.

Dispuso que con el valor de sus bienes se comprase renta para emplearla perpetuamente en la limosna de tres misas cada semana en dicho altar por su alma y la de sus difuntos, diciéndolas Juan de Valencia, mientras viviere, y que lo demás se emplease cada año en casar huérfanas, dando á cada una quince mil maravedises, las cuales hubiesen de ser honradas y pobres, naturales de Madrid, prefiriendo á sus parientas en cualquier grado aunque fuesen transversales. Dejó por patronos de esta memoria pía al prior de San Jerónimo, al guardián de San Francisco y un regidor de Madrid; y el haberla fundado á favor de naturales de esta villa, parientas suyas, es un argumento casi decisivo de que él era también natural de ella. Se depositó su cadaver el día 20 de Mayo en el coro de la parroquial de Santa Cruz, pero no existe el altar ni la sepultura. A caso no llegaría á hacerse, pues no los menciona Quintana, mencionando otros que había en la iglesia antigua; y si se hicieron, se quitarían cuando se demolió para construir la moderna.

En el codicilo encargó á sus albaceas Luis Hurtado, veedor; Pedro de Santoyo, pagador de los alcázares de Madrid, y Francisco Giralta, escultor, entregasen al rey un memorial, que dejaba firmado, por el cual le suplicaba se sirviese, según en orden que en el se contenía, de las personas «que son suficientes para servir á S. M. en las obras y edificios, de que en el memorial se hace mención, porque aquello es lo que conviene á la utilidad y buen suceso de dichas obras, y como persona que desea esto, y especialmente el servicio de S. M., ha procurado de pensar y tratar consigo mismo lo que sería mejor para ello, y cierto no halla otra orden ni cosa mejor que aquella:» y que también se entregasen á S. M. diez envoltorios de papeles que en el mismo memorial decía dejaba apartados. Los sujetos que recomendó para las obras puede inferirse, según los destinos que después les dió el rey, fueron en primer lugar Juan de Herrera y después Juan de Valencia y Jerónimo Gili.

Juan de Arfe dice que la muerte de Juan Bautista causó mucha confusión y tristeza «por la desconfianza de hallar otro hombre semejante.» Cabrera le llamó arquitecto inmortal, y el P. Sigüenza, que tenía voto en el asunto, «varón de gran juicio, escultor que entendía bien el diseño, sabía lengua latina y griega, y tenía mucha noticia de filosofía y matemáticas, y al fin se hallaban en él muchas partes que Vitrubio, príncipe de los arquitectos, quiere que tengan los que han de ejercitar la arquitectura y llamarse maestros en ella.»

Con más solemnidad si cabe y con fecha 23 de Agosto del mismo año colocóse la primera piedra en el edificio destinado á iglesia, asistiendo el Rey con la grandeza, deslumbrante séquito, todos los monjes que provisionalmente se alojaban en la pequeña aldea del Escorial y todos; junto con los maestros y operarios de todas clases destinados á la gran fábrica que iban á levantar, se encaminaron al punto designado y en solemne procesión á cuyo frente iba el obispo de Cuenca vestido de Pontifical, quién bendijo la piedra al colocarla el Rey con sus propias manos terminando luego la ceremonia cantando todos; los salmos y oraciones que prescribe el ritual.

Ya desde luego, cambió por completo el aspecto de aquel sitio; pues antes solitario, inculto, invadido de jarales y malezas, luego lleno de movimiento demostrando vida por doquier una vez llegadas ya las falanges de obreros ocupados desde luego en distintas faenas, ya cuarteaban los cerros vecinos para la extracción de la potente piedra berroqueña y que otros la acarreaban hasta el lugar del asiento así como los canteros la labraban y pulían para colocarla enseguida en su definitivo lugar juntándolas con suma precisión y á todo esto no faltando un Rey que presidiera dichos trabajos complaciéndose y admirando por si mismo como crecían las obras, acudiendo siempre á toda contingencia que sobrevenir pudiera y así no quedara el trabajo un momento interrumpido; de este modo á la par que veía cundir la obra que era su ensueño favorito aligeraba algún tanto sus penas y cuidados que no eran pocos acarreados por las turbulencias de sus numerosos dominios, disgustos de familia y sobre todo por el estado natural de ese monarca austero, reservado, fanático y adusto (*).

(*) Dice al efecto el Padre Sigüenza: Al principiar el año 1578, presentaba un cuadro admirable, y tal vez más magnífico y sorprendente que después de concluído el edificio. Este comenzaba ya á descollar magestuosamente sobre los robustos árboles y peñas que cubren aquel agreste, pero variado país; á su derredor se extendia una populosa ciudad formada por los talleres, tiendas de campaña, chozas y cantinas de los obreros; estos bullían á todas horas, y se ocupaban con afan en sus respectivos trabajos, y los cánticos variados y alegres de diferentes provincias, entonados al son de los golpes de los martillos y escodas, se confundían con las voces de los que cargaban y descargaban, de los que pedían materiales, subían y sentaban piedras, y de los que dirigían todos estos movimientos y operaciones para que los esfuerzos fuesen uniformes, etc.

Quién considerara las fraguas y el hierro que se gastaba y labraba, pensara que era para algún castillo ó alcázar de puro hierro, y no eran menores las fundiciones

Al contemplar tamaño monumento desde los altos y pedregosos cerros á cuyos pies está situado, descúbrese la imponente fábrica dividida en una combinación de compartimentos formados por las masas cubiertas y los deslunados por ellas comprendidas, dando idea de la distribución general y forma de la planta construída, la cual se asemeja á la forma de unas parrillas; sin duda alguna como á recuerdo del martirio del santo cuyo nombre se invoca (Fig. 102).

El templo, monasterio y dependencias de palacio aparece todo encerrado en el gran perímetro formado de un rectángulo en su planta el cual presta unidad al conjunto y sin embargo cada una de estas masas consideradas independientes responden perfectamente al fin, carácter y condiciones á que se las destina. La entrada, el gran átrio que la sigue y en pós de éste la soberbia iglesia colocadas en el eje central del edi-

de plomo, cobre, estaño y bronce..... Causaba á primera vista una confusión extraordinaria el movimiento de tantas máquinas, la actividad de tantos hombres, la diversidad de tantas y tan abundantes materias..... Lo que en la parte exterior era todo ruido y agitación, en lo interior de las habitaciones era todo silencio y estudio. Las bellas artes parecía haber trasladado allí su templo..... Allí los famosos pintores El Mudo, Luqueto, Zúcaro, Pelegrín y otros se ocupaban en trasladar sus animadas concepciones al lienzo ó á la tabla; ó las incrustaban en los lindos frescos de las paredes y bóvedas, mientras otros hacían dibujos y cartones otros iluminaban, otros pintaban al temple; de manera que el arte de la pintura se ejercitaba allí en todos sus modos y agradaciones.

Los sacadores y desbastadores de piedras llenaban los campos partiendo riscos notables en trozos de tal tamaño, que muchos con dificultad carreteaban cuarenta ó cincuenta pares de bueyes encuartados. ... En la sierra de Bernardos sacaban pizarra; en el Burgo de Osma y Espeja jaspes colorados; en la ribera del Genil junto á Granada, los verdes; y otras partes los negros sanguíneos y otros varios y hermosos colores; en Filabres, mármol blanco; en Estremos y en las Navas, pardo y gateado; en Toledo, se labraban figuras de mármol; en Milán, de bronce y en Madrid, para el retablo y entierros, y las bases y capiteles, y la preciosa custodia y relicario. En Aragón, las rejas principales de bronce; en Guadalajara, Avila y Vizcaya, de hierro. En Flandes, candeleros de bronce, grandes, medianos y menores, y de extrañas hechuras. En los pinares de Cuenca, Balsain, Quexigal y las Navas resonaban los golpes de las segures, conque derribaban y labraban pinos altísimos y con el ruido de las sierras que los hendían. En las Indias, se cortaba el ébano, cedro, acana, caoba, guayacan y granadillo; en los montes de Toledo y Cuenca, cornicabra; en los Pirineos, el box; en la Alcarria, los navales. En Florencia, se tejían brocados riquísimos; se labraba en Milán, el oro, el cristal y lapislazuli; en Granada, los damascos y terciopelos; en Italia, Flandes y España, pinturas..... El número de la gente que trabajó no se pudo saber como en el templo de Salomón..... Obrábanse á un tiempo juntas tantas cosas que aun que estuve en la fábrica muchos años, no las comprendo, y vencido en su relación le remito á otros escritores como San Juan Evangelista lo que vió en la transfiguración, etc.

ficio como el alma de todo el monumento, lo dividen en dos mitades, la una la del mediodía ocupada para habitaciones de los monjes, la del norte con destino á las dependencias del palacio á la vez que para el colegio y seminario. En cuanto á las habitaciones de la familia real están comprendidas en un cuerpo de edificio distinto unido á la masa general hacia la parte posterior de la iglesia, de cuya fachada posterior sobresale como ocupando el mango de las parrillas que simulan la planta. En los cuatro ángulos del rectángulo se elevan especiales torres coronadas por erguidos chapiteles las cuales flanqueando el edificio y distinguiéndose por su forma con el resto de la fachada atenuan algún tanto la monotonía de líneas que en tan extensas fachadas no alcanzarían á disimular lo menguado de los salientes. A igual efecto contribuye el cuerpo central rematado por un frontón triangular. Ocho columnas dóricas empotradas, ocupados sus intercolumnios por nichos y ventanas, sirven de apoyo á un ancho cornisamento, sobre ellas cargan cuatro columnas jónicas formando el segundo compartimento y en medio de éstas ocupa preferente lugar alojado en proporcionado nicho la colosal estatua de San Lorenzo, labrada en piedra berroqueña, obra de Juan Bautista Monegro, labrada de mármol blanco la cabeza, pies y manos.

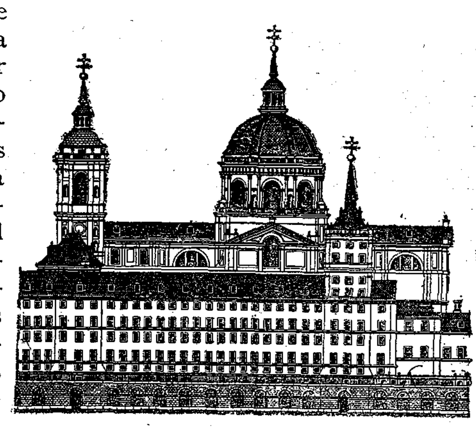


Fig. 102.—Monasterio del Escorial.

A mediados de 1567 murió Juan Bautista de Toledo quedando huérfano el soberbio monumento de persona idónea para la continuación de la fábrica, incidente que produjo alguna inquietud en el ánimo del Rey por creer de suma dificultad encontrar digno sustituto que estuviera á la altura de Toledo en el conocimiento é interpretación de los planos y de las importantes obras empezadas.

Más no fué así, pues en el discípulo de Juan Bautista de Toledo deparó la fortuna se encontrase quizá con ventaja al hombre destinado para continuar hasta llegar á feliz término todas las obras que se había propuesto realizar la voluntad de hierro de Felipe II (*).

Ya Juan de Herrera aleccionado y trabajando á las órdenes del de Toledo había ido formándose un criterio especial, gracias también á su claro talento; de la disposición de la fábrica, enterándose de ella cual su propio autor é imaginando en su interno las reformas que podían introducirse y que tendieran al mejoramiento de la obra.

Llegada pues ocasión de ser un hecho lo que antes era pura fantasía, parece que después de algunas conferencias con el Rey Felipe II, éste llegó á ser de su agrado lo que se le proponía dando el consentimiento para las referidas innovaciones aunque parece que para ciertos y determinados trabajos se llamaron á otros arquitectos como fueron Juan Bautista Castello que hizo la traza de la gran escalera y el padre Sigüenza asegura ser obra de Pacciotto el trazo de la Iglesia. Varias fueron las obras reales encargadas á Herrera más él fijó su gloria y sus desvelos en la del Escorial teniendo á su lado un modesto y hábil ayudante que le secundó de un modo muy notable; este era el lego de la orden Fray Antonio Villacastín.

La última piedra colocada de este colosal edificio fué en la cornisa de la parte izquierda del patio de los Reyes, en 13 de Septiembre de 1584, no quedando completamente concluídas las obras hasta 1593.

Para tener una idea de las dimensiones excepcionales de este singular edificio baste saber que en su recinto encierra la superficie de 36,862 metros cuadrados. Pero aparte de todas las notables y relevantes cualidades que han dado fama al edificio conocido por el mundo entero es sin duda alguna

(*) Juan de Herrera, nació en el lugar de Mobellan (Asturias) en 1530, estudió en Valladolid; pasó á Flandes con la comitiva del príncipe, sirvió en el ejército de Italia; fué discípulo del arquitecto Juan de Toledo, con quién empezó la magnífica obra del Escorial, quedando solo de director de ella á la muerte de su maestro y modificando los planos de Pacciotto; continuó la obra de la Capilla de Aranjuez; construyó el estanque de Ontigola, diseñó el Alcázar de Toledo; empezó la casa Lonja de Sevilla, trazó la Catedral de Valladolid; dirigió la obra del puente de Segovia en Madrid é hizo otra infinidad de edificios, cuya belleza y elegancia colocan á su autor entre los primeros arquitectos del siglo. Murió en 1597.

en lo que se distingue de los demás en su género en el ingenio, talento y conocimientos desplegados por sus arquitectos al desarrollar un gran número y variadas cuestiones de estereotomía que lo enriquecen y avaloran tanto más en cuanto es el primer edificio en el cual se resolvieron todos los problemas de construcción con el solo arte del corte de piedras desarrollándose de una manera franca y racional teniendo en cuenta que el mérito sube de punto, si se considera no estaba aun la ciencia en condiciones tales para poder allanar el camino y dificultades que naturalmente se presentan al buscar de una manera completa la solución.

Como decimos los casos particulares en estos problemas son muchos, limitándonos tan solo á indicar los siguientes: Dos arcos que se encuentran en la balsa de los comunes del convento, formados de sillería, tienen 13 metros de luz y 2'26 de flecha en la clave, sirviéndoles de apoyo en los arranques pilas cuadradas de 0'70 metros y de estribos unos arcos botareles que tienen respectivamente 1'38 metros y 1'64 de luz. Parecen de tres centros resultando casi adelantada la parte media. La tan renombrada bóveda plana que cubre el bajo coro ó ante-iglesia, y aquí está reproducida la forma de la gran Basílica preparando así mejor el ánimo del espectador antes de ingresar en el templo. La bóveda del zaguán de las cocinas. Es una media bóveda plana en el centro, cilíndrica en los arranques cortada por lunetos y por otros arranques cilíndricos en rincón de claustro, El muro de entrada, la corta en su centro, sirviéndole de estribos las otras tres. En este mismo punto hay una bajada cónica de 2'80 metros de luz que enlaza con otra bóveda también notable de 8'80 metros de luz y 2'50 de flecha que cubre la primera pieza de la bodega y sostiene el piso de la cocina del convento. En el tránsito que da vuelta á la Iglesia por el centro de los muros al nivel de la cornisa superior, se encuentran también trozos de bóvedas oblícuas y anulares de exquisito mérito, especialmente en sus encuentros con los cañones, cuéntanse también escaleras notables, la principal del artista Castello la cual tiene de marco en toda la caja desde la entrada hasta el testero 59 pies, de ancho 41 y 82 de elevación: cada grada cuenta 16 de uno á otro extremo. A los trece escalones forma un descanso regular y á los otros trece, una gran mesa que ocupa todo el ancho de la caja adornada con nichos y asientos en ellos como para gozar desde aquel sitio que es el más á propósito el

bellísimo punto de vista que ofrece la escalera. La escalera colgada que se encuentra en la habitación que tiene su entrada en la galería de convalecientes. Y finalmente las dos bellísimas que sirven de subida á los púlpitos del refectorio del convento.

Abstracción hecha de el bajo coro y el presbiterio, aparece la planta del templo en forma de cruz griega originada por la intersección de dos anchurosas naves, y en los ángulos de la cuadrada planta hay cuatro bóvedas más bajas á manera de naves laterales interrumpidas por el crucero. Los pilares robustísimos ornamentados en sus caras exteriores por sendas pilastras dóricas, estriadas que se elevan hasta el cornisamento y entre las cuales se abren los arcos que comunican con las naves laterales trazando en los ángulos como cuatro pabellones.

Sobre dicho cornisamento arrancan los potentes arcos torales pareados como las pilastras que van á su vez á prestar apoyo á la grandiosa cúpula dividida en ocho compartimentos por columnas dóricas gemelas entre las cuales queda rasgado el muro del recinto dando lugar así á sendos ventanales terminados por arcos de medio punto; sobre las cuales descansa un bello cornisamento de donde arranca aparentamente la parte exterior de la media naranja la que produce un bellísimo efecto con la serie de nervios radiales correspondiente cada uno de ellos á las columnas últimamente mentadas, cuales figuran serie de lazos que la aprisionan y que á su vez están ceñidos en su cúspide por la bella linterna que da feliz remate al edificio.

Pero lo que evalora este edificio para honra y prez de sus autores Juan B. de Toledo y Juan de Herrera no es solamente el mérito que desplegaron en la atinada distribución de masas sino como hábiles constructores en el desarrollo y resolución de problemas estereotómicos en época que no había aun llegado á su período álgido la parte teórica de la cantería considerada en sus cortes mientras que por otra parte sabían imprimir al carácter místico y religioso de su tiempo con elementos de un estilo Arquitectónico que había tenido su cuna y desarrollado en medio de las creencias gentílicas, logrando llegar á acomodarla de modo tal hasta el punto de que se encuentre perfectamente en consonancia y cual si fuera por si solo el único para que el edificio se aparezca con aquella expresión y simplicidad que le corresponde como á lugar de recogimiento y meditación.

97. En la docta ciudad de Salamanca y por disposición del cardenal fray Juan de Toledo, hijo del duque de Alba, se asentó en el 30 de Junio de 1524, la primera piedra en el edificio destinado á convento de Santo Domingo, el cual trazó y empezó Juan de Alava, y que más tarde continuó Juan de Rivero Rada en compañía de Pedro Gutiérrez y Diego de Salcedo, habiendo durado la obra hasta el año 1610. Es de notar en esta famosa obra como aparecen distintos estilos en las partes que lo componen á pesar de no ofrecer durante el lapso que medió en su construccón un violento cambio en las respectivas transiciones.

Así se vé que el dibujo de los pináculos y demás detalles góticos que rodean las capillas como se combinan con la rica fachada plateresca (*) y esto que á primera vista parece que ha de pugnar en el conjunto de la composición por obedecer á teorías y principios completamente diversos, no produce sin embargo al observador la disonancia que la razón cree encontrar á la reunión de tan variados sistemas de trazo y construcción.

Forma la fachada un gran arco de medio punto el cual cobija como simple marco una singular portada llevada en forma de retablo ocupada por una serie de adornos y molduraje de tal manera dispuestos y con tan poco relieve relativo que á poca distancia ha de parecer situado aproximadamente en un solo plano. Se compone de tres cuerpos. En ella se descubren entre las pilastras del primer cuerpo cuatro estatuas representando doctores de la iglesia. Encima de la puerta hay una gran arcada y en el fondo de la misma y en relieve la representación del martirio de San Esteban obra de Juan Antonio Ceroni. El centro del tercer cuerpo está destinado á la escultura del Calvario y dos estatuas alegóricas á cada uno de sus lados cobijadas como las que

(*) Plateresco es el nombre con que se ha conocido una de las fases con que pasó el Renacimiento en España, á consecuencia del desarrollo que tomaron en esta época los trabajos de plata y oro en la industria de la Platería, pues abundaban estos dos metales preciosos desde el descubrimiento del Nuevo Mundo, recibiendo la Nación grandes remesas. Por una ley de reciprocidad, llevada por las circunstancias vino á suceder que así como hasta entonces el arte del platero habíase inspirado en la Arquitectura para sus principales concepciones, así después la desmedida afición al fausto, riqueza, lujo y ostentación hizo por el contrario acudieran los que profesaban el arte de Vitrubio á las formas y detalles en uso y característicos á los trabajos á que se sujetaba el argentífero metal.

anteriormente hemos mentado por trabajados doseletes. La bóveda del citado arco está artesonada y en las enjutas del mismo se destacan en relieve los timbres episcopales del fundador.

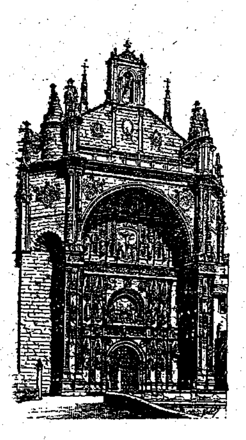


Fig. 103.
Fachada del Convento de Santo Domingo. (Salamanca).

Es de notar aquí bajo el punto de vista de la Estereotomía el medio de enlace para la combinación de la fachada principal para con las laterales. Quizá se deba este detalle que al parecer pasa desapercibido el que no aparezca desarmónico el conjunto de la construcción al combinar los estilos distintos de que son objeto las fachadas antedichas. Y es que al unirlas por medio del chaflán superior, éste con muy buen criterio por parte de su autor no arranca desde el plan terreno en donde se vería la directa unión de las dos fachadas resaltando con esto la diferencia de las dos escuelas al paso que terminándolo á la altura del arranque del gran arco de fachada y sosteniendo dicho chaflán con una trompa consigue que las molduras de la fachada principal terminen en el ángulo entrante que deja debajo de sí la trompa referida. De este modo el molduraje horizontal de los capiteles de las pilastras no queda obligado á correr por las fachadas laterales dejando que se ostenten libremente en ellas la serie de pináculos que las rodean. Estas trompas son onduladas, independientes sus dovelas de las hiladas del muro, de un buen conjunto, aun que no obedezcan á todos los buenos principios estereotómicos.

98. Sucedió al estilo del Renacimiento lo que á los demás que le precedieron, pero en grado mayor y hasta llegar á la exageración, y es que parece que ha sido ley natural que después de haber adelantado y llegar al período de su perfección y racional desarrollo le ha sucedido una postración y visible decadencia hija del prurito de los artistas de producir variaciones buscando originalidad por todos los medios posibles y así atraer la atención del público. Desviáronse de las formas sencillas y proporcionadas adoptadas por la Ar-

quitectura clásica, cubriendo sus distintos miembros de follaje y de toda clase de ornato exuberante y rico, pero no siempre de racional aplicación; pero aun más adelante en esa fiebre de innovación y del adorno, vino la completa adulteración de los miembros arquitectónicos desapareciendo las analogías naturales entre el ornato y la construcción; la forma y el objeto quebrantando caprichosamente y á mansalva las más triviales reglas del arte de Ictinus y Vitrubio.

La cornisa, entablamento y molduras se cortaron bruscamente, interrumpiéndolas; ya doblegándose, ó ya también haciendo cambiar de modo inusitado la dirección, produciendo resaltos en ángulos de todas clases. Algunos que quizá no creian haber llegado aun al colmo de tanto dislate y pareciéndoles poco lo que hasta allí se había hecho, ondularon los frontones, cornisamentos y llenos; y guiados por su acalorada fantasía alteraron de un modo desgraciado la forma y proporción de las columnas que aparecieron espirales y serpentinas, ora enanas y panzudas, ora larguiruchas y escuálidas. Otras veces eran sustituidas y también alternadas con las feas estípites, ó con cariátides ó con mascarones de cuerpo mal pergeñado naciendo de inverosímil cuna; añadamos á tales despropósitos el nuevo ornato sembrado de tarjetones, lazos de todas clases movedizos y doblegados de mil maneras, sartas de collares, manojos de flores y tanta chuchería como mejor plazca á la febril imaginación del artista de aquella época y se tendrá una idea del conjunto confuso y abigarrado de las obras de extrañas aficiones.

99. **Churrigueresco.**—Se ha llamado en España tan particular y genial estilo, por haber sido el arquitecto D. José Churriguera de los primeros que lo practicó y propagó en demasía y por todos los medios que estuvieron á su alcance y de cuya práctica tenía gran afición. Llamóse también *Barroco* este género de Arquitectura y *Borrominesca* en Italia por ser Borromini junto con Bernini, los que la fundaron. Se desarrolló en el siglo XVII y hasta el XVIII adoptándola muy especialmente en los templos de los jesuítas si bien es verdad que apartándose de tanta extravagancia y adoptando solamente lo más admisible del sistema, al concretarse á los prudentes límites originarios del genio de Bernini.

La iglesia de la Natividad de Nuestro Señor Jesucristo, conocida por la iglesia de Belén y situada en la Rambla de

Barcelona nos ofrece un ejemplo muy señalado del tipo de Arquitectura á que nos referimos. Allá por el año 1553 y en 13 de Junio parece que los Concelleres dieron permiso á los religiosos de la Compañía de Jesús para edificar una casa en donde instalaron su Colegio y erigieron también una iglesia bendecida en 19 de Julio de 1555. Más andando el tiempo y

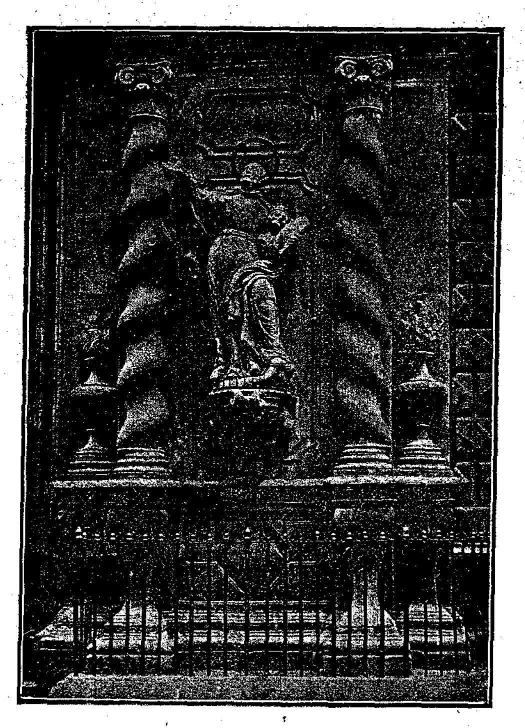


Fig. 104.—Iglesia de Belén. (Detalle de la fachada).

siendo dicha edificación demasiado reducida dado el desarrollo que habían tomado las necesidades de la orden vino á ser derribada y sustituida por nueva construcción, cuya fué la iglesia actual empezada en 1.° de Marzo de 1681 habiendo alcanzado feliz término sin que hubiera ocurrido circunstancia notable, en el año de 1729, compuesta solamente de una nave acompañada por uno y otro lado por una serie de capi-

llas laterales separadas entre sí por muros divisorios aun que comunicándose dichas capillas por medio de puertas abiertas en los expresados muros de división. La nave está cubierta por una bóveda en cañón seguido reforzada con arcos torales perforada por una serie de lunetos para la iluminación del templo. Una serie de pilastras que corren á lo largo de los muros reciben sustentándola una cornisa muy volada llena de resaltos armonizando su carácter con el que presenta la fachada de la cual se representa uno de sus detalles en la (Fig. 104) por ser el más importante de la misma y se compone de un cuerpo formado por dos columnas de las llamadas salomónicas y aun que pareadas distintas una de otra en el fuste por ser diversa la generación de la serpentina, terminada superiormente por dos pesados capiteles de gusto algo degenerado sirviéndole en la parte de basamento dos como ménsulas. Entre estas dos columnas ocupa debido lugar la estatua de San Francisco de Borja, descansando en una peana adornada de volutas que se revuelven en sí mismas presentando un efecto algo desagradable. Es de notar lo genérico del almohadillado que corre en el resto de la fachada pues cada pieza en resalto está compuesta de un tablero rectangular y como si esto no fuera bastante, superpuesto á él y con bastante relieve hay dispuesto un losange.

Finalmente si nos fijamos en las construcciones que corresponden á este estilo observaremos que los despiezos practicados se resienten del sistema defectuoso llevado por la ornamentación, pues ésta, introduciendo reformas tales como son el cortar bruscamente las molduras, torturar los cornisamentos, retorciendo frontones é introduciendo en todas partes una exuberancia de adornos vayan ó no bien aplicados, todo esto hace que las líneas de junta tengan que forzarse la mayor parte de veces, buscando direcciones tortuosas para no perjudicar las masas ó relieves de labor complicada que alternarían algún tanto la escultura. La labra de los fustes serpentinos ofrece alguna complicación pues exige el engendro de las superficies sea llevado valiéndose del género de las envolventes para lo cual precisa escoger con conocimiento de causa la mejor evoluta generatriz que pueda emplearse para que resulten lo más sencilla posibles las debidas características pues así según sean ellas puede facilitarse el labrado con el auxilio de una contraplantilla.

100. La aparición en el siglo XVII del ingeniero y táctico francés Sebastián Leprestre de Vauban, se dió á conocer por los grandes adelantos y desarrollo que experimentaron todas las obras de fortificación, las cuales alcanzaron por los estudios é innovaciones de este distinguido militar, un grado de perfección hasta entonces desconocido. A Vauban se le considera como el creador de la poliorcética moderna, inventó las paralelas, los caballos de Frisa y los tiros de rechazo. Trabajó en la reconstrucción de 300 plazas ó fortalezas antiguas, construyó 35 nuevas, dirigió 53 sitios y asistió á 140 acciones de guerra.

El nuevo sistema de estrategia y fortificación condujo á la construcción de pasajes subterráneos combinados de distintos modos formando, ya cañones seguidos horizontales rectos, en esbiage, bajadas y todas estas, algunas veces encontrándose mutuamente dando lugar á lunetos los más complicados y raros, ya también resultaba exigir la nueva táctica que sobresalieran grandes voladizos de los lienzos generales de las murallas y entonces se había de apelar á este juego de trompas difíciles é irregulares ó cuando menos sustituidos por otros trabajos análogos que caracterizaban tanto y daban sello especial á las concepciones de Vauban. Construíanse también toda clase de muros en talud y terminados en superficie curva, los cilindros y conos rectos y oblícuos eran muy empleados especialmente en los acuerdos pues los bruscos cambios de dirección que se daba á los murallones, formando los baluartes que se unían á las cortinas, exigía á parte del buen enlace de los muros, disminuir todo lo posible las aristas vivas para evitar los efectos desastrosos de los proyectiles y como quiera que las plantas de estos muros tenían formas ó siluetas en zig-zag, revolviéndose muchas veces sobre sí mismas de aquí resultaban acuerdos enrevesados teniendo de acudir á uniones por medio de superficies alabeadas, dando lugar á problemas sumamente dificultosos. Empleábanse también bóvedas de todas clases según los espacios que habían de cubrir, siendo muy frecuentes los capialzados y las bóvedas cónicas de las llamadas cañoneras.

Toda esta gran afluencia de cuestiones de corte de piedra que sobrevinieron, abrió el período álgido de la Estereotomía, convirtiéndose en un verdadero arte y sistema, el conjunto de los distintos medios empleados para el aparejo,

preparación de una piedra y labrado sucesivo; este arte traducido en principios fijos é invariables cuales habían de preparar convenientemente analizados, una serie de textos sucesivos que iluminando más adelante el genio de Gaspar Monje, hicieran surgir de su mente la nueva ciencia de la Geometría Descriptiva.

Vauban llegó al grado de Mariscal de Francia. Sus obras de fortificación más admirables entre las cuales se habían aplicado muchas arduas cuestiones de Estereotomía fueron: Las de Maubenge, Longoi, Sarrelouis, Thionville, Haguenau, Uninga, Khel y Landau. Nació en Saint Leger el 1.° de Mayo de 1633 y murió en el 13 de Marzo de 1707.

101. En el año de 1642 Maturín-Jousse dió á luz un libro bajo el nombre de *Secretos de Arquitectura* en el cual después de exponer los problemas más elementales de Geometría, y unas ligeras nociones de los órdenes de Arquitectura, trata de algunas cuestiones estereotómicas, más llevadas tan confusas y tan faltas de unión, que reconocido así por sus sucesores todos estuvieron de acuerdo al hablar de esta obra, concluyendo que había hecho perfectamente el autor en titular bajo el nombre de *Secretos* semejante composición pues era cierto que de ella no podía sacarse ningún provecho.

Ya á partir de esta época, los trabajos y prácticas de Estereotomía habían llegado á un estado tal de adelanto que todos sus principios y proposiciones que de ellos se deducían podían formar una ciencia especial y tal fué así que empiezan á darse á la estampa obras y textos, para estudiar concretamente el arte del corte de piedra.

102. La Arquitectura de las Bóvedas.—Es la obra que el padre Derand de la Compañía de Jesús publica en el año de 1643, tuvo bastante éxito, pues se dieron de ella bastantes ediciones. Dice el mismo autor que la obra la hizo expresamente para que en ella pudieran ilustrarse los obreros, teniendo solo necesidad de que poseyeran antes de entrar á estudiarla los principios de Geometría elemental. A este fin confiesa que sería inutil ir á buscar en este volumen discusiones que se encerraran en límites especialmente especulativos, en demostraciones que apoyen las operaciones pues que no está destinado á la gente docta. Aconseja

sobremanera que el estudio vaya acompañado de la práctica y que cada problema que se resuelva comprendida que sea su explicación, vaya acompañado de la formación de modelos en relieve. Se extiende á la explicación de los términos que forman el tecnicismo del lenguaje estereotómico dando una reseña de los principales instrumentos del cantero.

Los problemas que presenta son numerosos y variados, gran extensión en las bajadas y capialzados, diversidad de trompas y muros.

Da muy pocos datos sobre las bóvedas góticas á las cuales dá el nombre de modernas y presta en ellas poca atención.

La mayor parte de operaciones que expone lo hace aproximadamente en especial los desarrollos de superficies. Una de ellas la esfera al tratar de labrar el intradós de una bóveda esférica la considera subdividida en una serie de zonas cónicas á las cuales sujeta el desarrollo tomándolas en sustitución de las zonas esféricas lo cual equivale á tanto como á sustituir el arco por su cuerda. Este método aproximado fué muy bien recibido en aquella época y de tal manera llamó la atención que desde entonces casi todos los tratados de Estereotomía que se han dado á luz han venido consignándolo en sus páginas llamándole simplemente, *Método del P. Derand*. Dice en su obra que ella encierra los casos más necesarios para la inteligencia del arte, deducidos de los cortes de cantería sobre los cuales podrían añadirse otros más complicados deducidos de los primeros *pues no hay corte por difícil que sea que no pueda deducirse de los aquí expresados.*

Confiesa el P. Derand que todas las soluciones que expone en su obra no son originales y lo que únicamente ha hecho es reunir y coleccionar ordenándolos una serie de prácticas y procedimientos empíricos que estaban completamente diseminados y algunos de ellos del dominio de los obreros, los cuales guardaban como inestimable secreto. Dice también á continuación que si mérito tiene su obra consiste en haber orillado la confusión de semejantes procedimientos escogiendo lo mejor y de más fácil aplicación purgándolos de los errores y defectos con que se empleaban y finalmente remozándolos y simplificándolos para ponerlos al alcance de todas las inteligencias.

En suma la obra del P. Derand aunque esencialmente práctica y despojada de todas aquellas aplicaciones que placen al ánimo al darle cuenta de las verdades que se exponen, no deja de revestir importancia suma, pues á ella se debe la verdadera iniciativa para la publicación de obras posteriores, cuyo camino tenían ya expedito y señalado con el trabajo del célebre jesuíta.

103. En el mismo año de 1643 Desarges publicó un libro de nociones de corte de piedras haciendo constar en él, que las resoluciones que empleaba eran completamente nuevas, de su exclusiva propiedad, expresando como una especie de desdén hacia los procedimientos que entonces se empleaban. Joaquín Curabelle hizo un juicio crítico de semejante obra acentuando todas sus faltas y criticando de un modo acre á Desarges. A Curabelle se le tenía considerado como hombre práctico é inteligente en el conocimiento del corte de piedra más no se tiene noticia que hubiera publicado nada sobre el particular.

104. Otro padre jesuíta y llamado Dechalles dió á luz en el año 1672 en la lengua latina y con el título de *Lapidum sectione* una obra ocupándose de cuestiones estereotómicas pero realmente en el fondo era la obra del padre Derand aunque ampliada introduciendo las demostraciones más importantes. En la intersección de superficies reproduce los mismos resabios que el padre Derand en virtud de prescindir ó ignorar las propiedades de las curvaturas y líneas curvas alabeadas.

105. En 1728 aparece la obra del arquitecto Delarue con el nombre de *Tratado de corte de piedras*. Viene á resumir la obra del padre Derand aunque la ordena mejor y amplía con nuevos ejemplos pero sin exponer teorías que justifiquen y demuestren las operaciones. Sin embargo concretándose al terreno de la práctica se desprenden en las construcciones una serie de trazados que en realidad no son otra cosa que cambios de plano, desarrollos y secciones rectas que hacen entrever los métodos especiales que más adelante se habrán de aprovechar para servir de núcleo á la Geometría Descriptiva.

Dice Delarue que el corte de piedras es una ciencia de

invención moderna asegurando que Filiberto Delorme fué el primero que expuso reglas y principios sobre la misma haciendo grandes elogios de este autor, cuando encomia su obra consistente en la célebre trompa del castillo D'Anné para sostener la habitación de Enrique II, diciendo que es un ejemplo de la capacidad del autor, aunque doliéndose al mismo tiempo que hombre de tanto mérito no hubiera sido lo explícito y completo en el reducido número de problemas que planteara en su obra.

106. Más ya en el año 1737 el ingeniero Frezier director de las fortificaciones en el reinado de Luis XV publicó un tratado de *Teoría y práctica del corte de piedras*. Obra llena de erudición resolviendo las cuestiones después de haberlas preparado de una manera oportuna con las teorías y demostraciones en las que se habían de fundar, en ella se ve al hombre gran teórico y eminentemente práctico á la vez, resolviendo las cuestiones valiéndose de medios geométricos sumamente ingeniosos, muchos de los cuales no desdeñaríamos en aceptar apesar de los adelantos y sencillez introducidos por la actual Geometría Descriptiva.

107. En 13 de Diciembre de 1713. La autoridad eclesiástica de Valencia, concedió permiso para la impresión del tomo quinto del *Compendio de matemáticas* del Dr. Presbítero D. Tomás Vicente Tosca, en cuyo tomo se trataba de la *Arquitectura Civil*, *Montea y Cantería*, *Arquitectura militar*.

Es sumamente recomendable la parte que trata del corte de piedras pues estudia gran número de cuestiones objeto de otros tantos problemas, todos demostrados provistos de la parte científica en el grado que alcanzaban los adelantos en aquel entonces, expone medios prolijos para el labrado de las piedras, y otros para la saca de las plantillas, algunos muy ingeniosos y que demuestran sumo conocimiento de la materia.

La obra presentada con un orden y sucesión especial, está dividida en cinco libros que contienen:

El primero *los fundamentos de la ciencia*, el segundo *la descripción de los arcos y bóvedas cilíndricas, de los arcos pasajes convergentes y capialzados*, en el tercero *de las bóvedas cónicas*, en el cuarto *de las bóvedas principales* (bóvedas de revolución é intersección de bóvedas entre

sí) y el quinto *bóvedas destinadas á escalera*. Este sumario de materias es bastante para indicar la importancia del trabajo, y la utilidad que en aquella época debían reportar los que se veían precisados á practicar el arte estereotómico. Muchas ediciones se han hecho de este importante libro durante el siglo pasado.

108. En el año de 1792 apareció el *Tratado elemental*, de corte de piedras de Simonin. Quizá no sea de concepto tan elevado como la obra de Frezier pero tiene por otra parte la ventaja de ser sumamente conciso y claro al mismo tiempo. Los dibujos que constituyen las figuras descriptivas están dibujadas con más pulcritud y precisión que en las obras precedentes y el orden de las construcciones llevado con un tino y facilidad tales que poca explicación de texto necesita el lector, de estar impuesto en la parte elemental de la geometría.

Las piedras que dibuja separadamente en Perspectiva dan una idea admirable de los cortes y de la forma especial con que cada una de las piezas ha de estar afecta á la obra del conjunto.

El texto en el cual presenta la solución del problema y las operaciones inherentes hasta su final terminación responde también á la idea propuesta por el autor de llevar las explicaciones con el menor discurso posible y mayor claridad que sea dable.

109. Segunda Restauración.—El abuso y exageración del Barroquismo llevó por fin como sucede siempre en todas las manifestaciones que por sus excesos llegan al colmo de la medida; una saludable reacción, amparándose desde luego los verdaderos artistas en las antiguas tradiciones de Roma y Grecia, retornando otra vez á lo pasado, á lo clásico conforme se había hecho tiempo atrás quizá no mediando razón poderosa como ahora.

La traducción de Vitrubio llevada á cabo por Perrault, el importante trabajo y estudio de las antigüedades romanas hecho por Desgodets publicado á principio del siglo XVIII, la nunca bien encomiada obra que dió á luz Leroy describiendo las antigüedades de la Grecia, las incesantes investigaciones que los artistas hacían con el mayor ahinco de los monumentos de Arquitectura de todos los países; célebres y dignas de tenerse en cuenta por su belleza y construcción, de los cuales

requisitos podían formarse como tipos, todo esto fueron motivos que contribuyeron eficazmente á la revolución artística de que tratamos.

Sin embargo quizás se pecó por el extremo opuesto pues tratando de inspirarse en las obras de los antiguos, se concluyó en una servil imitación copiando por entero los edificios levantados en los siglos de Pericles y de Augusto, aplicando su disposición y formas, esencialmente locales y característicos de su destino particular para que fueron creadas, á edificios levantados en el siglo XIX en París, Lóndres, etc., los cuales tenían un objeto y destino completamente distintos de aquellos. Hasta cierto punto era desconocer obrando así, el principio fundamental que guiaba á los artistas de aquellos tiempos, pues su objetivo y principios estaban cimentados en que la belleza arquitectónica había de nacer de las proporcionadas formas deducidas de la disposición más conveniente del edificio según las necesidades que había de cumplir, al mismo tiempo que de la construcción más apropiada según los materiales que se pudieran escoger.

Iníciase semejante cambio en nuestra España, en el reinado de Felipe V, quién amante como el que más de las bellas artes, contribuyó á difundirlas en el reino empezando una nueva era de feliz recordación, haciendo por cierto contraste este movimiento artístico, con el que acababa de pasar bajo el reinado anterior del débil y enteco monarca Carlos II.

Uno de los primeros actos de Felipe fué su influencia para la formación de una junta preparatoria para fundar en sólidas bases la enseñanza de las bellas artes, realizó luego una porción de proyectos importantes entre ellos el palacio real de Madrid para el cual llamó el arquitecto Juvara discípulo del célebre Fontana, más habiéndose malogrado éste, pues murió en 1736 fué llamado á sustituirle el arquitecto Sachetti.

110. Es el palacio real de Madrid una fábrica proporcionada, llena de gentileza si bien su ornamentación aunque entonces admitida no se aviene con la corrección y delicadeza del clacisismo, desvirtuando con esto algún tanto el buen efecto producido por la simplicidad de líneas y pureza de perfiles.

Las fachadas en toda la altura del piso bajo, corre en ellas un almohadillado que dá un carácter de severidad y robustez al edificio, abriéndose en esta primera altura las prolongadas ventanas con sencillos guardapolvos y también las

puertas de entrada terminadas con arcos de medio punto. En cambio el piso principal comunica ligereza y gracia á la construcción, con sus proporcionadas y esbeltas columnas jónicas (Fig. 105) y pilastras dóricas; éstas en el fondo del lienzo de fachada, aquéllas en los cuerpos nobles y salientes ya centrales, ya angulares ó extremos. Destácase en el centro de la fachada principal airoso balcón corrido lleno de majestad lo propio que cada uno de los que ocupan los paños de las interpilastras. Todos estos balcones coronados con serios guardapolvos ya triangulares ó circulares á medida que van alter-



Fig. 105.—Palacio real de Madrid.

nando, así no aparece la monotonía que sería consecuencia de la igualdad y repetición de las mismas formas unas en pos de otras. Exímese de esta ley el cuerpo central cuyos balcones atención hecha á su mayor importancia terminan por otros guardapolvos de forma semicircular de mayor altura, dando así más severidad si cabe á las regias aberturas.

Encima de estos balcones campean achatadas ventanas correspondientes á los pisos superiores.

Ancho cornisamento termina el edificio corriendo encima de la misma, rica balustrada sobre cuyos interpolados pedestales descansan gruesos jarrones que sustituyeron años atrás á las colosales estatuas de reyes y magnates.

Todas estas fachadas pueden considerarse como un rico modelo de cantería bien trabajada y el buen efecto que se supo sacar de la combinación de las dos clases de piedra que las componen. Las jambas, guardapolvos, cornisamentos, columnas y todos los detalles de relieve están labrados en piedra blanca, destacándose sobre el cárdeno granito de los muros, resultando así un bellísimo efecto.

Colocóse la primera piedra el 7 de Abril de 1737, terminándose en el reinado de Carlos III no siendo dable por lo tanto á Felipe V ni á su sucesor Fernando VI dar cumplimiento final á edificio de tanta trascendencia y que tiene reservado tan distinguido lugar en los anales de la historia del arte y de la construcción.

111. De este período data el soberbio edificio llamado Casa Lonja en la ciudad de Barcelona y en donde también está situada la Academia provincial de Bellas Artes.

Esta construcción fué levantada por disposición de la Junta de Comercio, valiéndose ésta del entendido arquitecto D. Juan Soler, autor de tan magnífica obra la que se principió en el año de 1772. Ocupa la planta un gran rectángulo encontrándose el edificio completamente aislado con fachadas á cuatro vías. La fachada principal está precedida de un extenso y magestuoso pórtico que sobresale de la misma cubierto con una gran terraza, especie de ameno y grandioso balcón al servicio del primer piso.

Cinco arcadas de medio punto comprendidas las tres centrales entre ocho columnas; dos á cada lado de la abertura, de un severo y bien trazado dórico, comunican al edificio un aspecto monumental y grandioso que se aviene perfectamen-

te su dibujo al del cuerpo superior decorado con seis columnas macizas á la par que esbeltas revestidas de un hermoso jónico, sosteniendo todas ellas un colosal frontón. Varios guardapolvos ya triangulares, ya circulares dan feliz remate á las aberturas que campean entre los intercolunios.

Dejando aparte el pequeño lunar que aparece en la fachada principal en donde resulta alguna desproporción entre las grandes columnas del piso principal comparadas con las relativamente pequeñas de los bajos lo cual hace que éstos salgan algo deprimidos por el piso alto resulta de todos modos, es este edificio de naturaleza tal que place más y más á medida que la atención persiste en su fijeza, y nó es ciertamente por el ornato pues la decoración es sumamente sencilla, consistiendo todo el mérito en la corrección del dibujo, acierto en la distribución de masas generales, así como en las buenas proporciones del justo límite de los huecos comparados con las masas (Fig. 106).

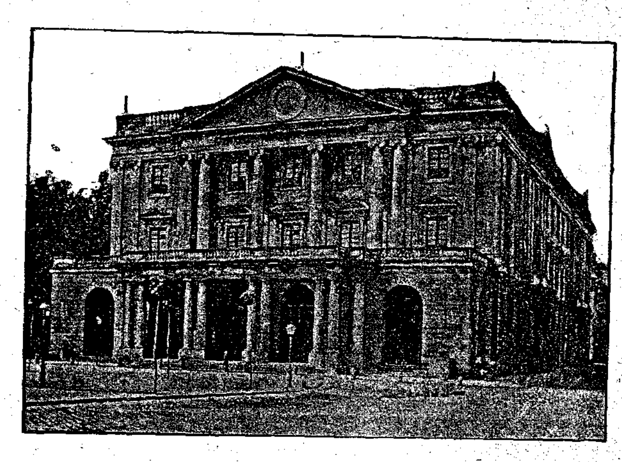


Fig. 106.—Casa Lonja. Fachada.

El arquitecto Soler quiso en este edificio demostrar que si en la composición del mismo había estado acertado no valía menos su ingenio bajo el punto de vista de constructor. Así es que desarrolla en él una serie de problemas estereotómicos cuales son los principales.

Cinco preciosas bóvedas vaídas elípticas, que cubren el

pórtico anteriormente mentado, sostenidas por los machones del cuerpo de fachada y las pilastras de la cara opuesta. Son de algún mérito estas bóvedas por la dificultad que tienen en el caso actual que encontrándose todas unas á continuación de otras, han de estribar forzosamente sobre los arcos elípticos transversales los que por su mezquino grueso dificultan el despiezo en las inmediaciones del encuentro de dos bóvedas adyacentes con el arco de sostenimiento. Sin embargo todo está perfectamente dispuesto por su atinado aparejo, llevado con juntas continuas cónicas, haciendo que las hiladas adyacentes á los arcos, formen parte de las piedras del mismo. Bien es verdad que no hubo bastante cuidado en la labra de dichas juntas para que después hubiérase de acudir á la rectificación de los intradós pero eso no obsta para que de todos modos se obtuviera un conjunto bien dispuesto y se pudiera admirar la gallardía de semejante construcción estereótomica (Fig. 107).



Fig. 107.—Casa Lonja Bóvedas vaídas.

El magnífico patio central de forma cuadrada cercado de pórticos y en medio de cada lienzo una portada dórica con dos columnas; en cada uno de los ángulos, ábrese un nicho esférico con su estatua de mármol blanco representación de Europa, Asia, Africa y América. En el despiezo de estos nichos quiso demostrar el autor su competencia en la Estereotomía aparejándolos cada uno de distinto modo ya empleando para las juntas contínuas, conos de eje vertical, en otro, conos de eje horizontal, en otro, superficies cilíndricas horizon

tales y en el último simples planos concurrentes al eje horizontal de la esfera (Fig. 108)



Fig. 108.—Patio central con nichos.

¿Y qué diremos de la gran escalinata que desemboca á uno de los lados del citado patio? Su despiezo está llevado con bastante acierto, recurriendo por su gran volada á cortes en redientes para el enlace de las respectivas juntas, buscando adrede dificultades al querer atravesar el intradós de la bóveda en bajada por una serie de aberturas de los pasos inferiores, apareciendo así en las intersecciones líneas de doble curvatura y por tanto el deseo de mostrar habilidad en el conocimiento de cortes de cantería, que condujo las combinaciones de tal modo á poder ostentar una bóveda colgada para sostener el pasadizo de la escalera principal (Fig. 109). Muestra también ingenio el querer introducir un capialzado irregular sin necesidad manifiesta



Fig. 109.—Escalera.

(Fig. 110) en la puerta que comunica la sala de contratación con el patio central.

En suma que este edificio nos demuestra los relevantes méritos del célebre arquitecto catalán distinguiéndose como artista de concepción, práctico consumado y hombre científico que estaba á la altura que habían alcanzado los adelantos de aquella época.

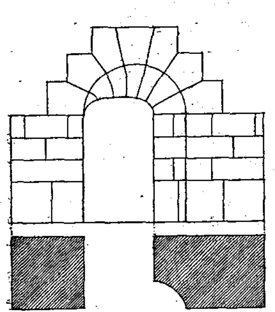


Fig. 110.—Capialzado.

112. De 1746 á 1818 florece el eminente Gaspar Monge que haciéndose cargo de los procedimientos que se empleaban en el arte de la montea los reune, saca partido de ellos de tal manera que su potente genio vé en ellos un nuevo arte y ciencia la cual metodiza y de su constante estudio de investigación, nace la Geometría Descriptiva que ha de facilitar desde entonces los conocimientos inherentes á la Estereotomía.

Aprovéchanse de ella sus sucesores y empiezan á publicarse tratados á cual mejores sobre el estudio del corte de piedras (*).

113. En 1825 sale á luz el *Tratado especial de corte de piedras* de J. P. Douliot. Estudio completo y muy metódico con respecto á dar á conocer la mayor parte de ejemplos que la práctica puede presentar más le falta en ellos el camino de investigación demostrativo que place al espíritu exigente al tener comprobadas las verdades ó principios que se sientan.

114. En 1838, sale la importantísima obra de J. Adhemar intitulada *Tratado del corte de piedras* en cuyo prefacio dice el autor que su trabajo está destinado á los prácticos, razón por la cual escoge las disposiciones mejores de los datos en los distintos problemas que componen las láminas,

(*) A este tratado siguieron los de Hachette y Valleé más ampliados y nutridos de cuerpo de doctrina y de todos ellos dimana ya la base principal de los textos de Estereotomía cuales desde entonces son tratados de un modo mas claro, racional, desprendiéndose las operaciones de un mismo cuerpo de principios de una ciencia completamente definida.

para hacer resaltar lo mejor posible los detalles de cada operación; sin embargo aconseja al lector la necesidad de estar impuesto de la Geometría Descriptiva indicando al mismo tiempo la conveniencia de hacer modelos de yeso cuando los problemas se presenten con alguna dificultad.

No hay duda ninguna que la obra de Mr. Adhemar facilitó un gran desarrollo en el estudio del corte de piedras, toda vez que poseyendo medianamente la Descriptiva pueden seguirse paso á paso todas las operaciones objeto de cada uno de los problemas, en razón de ser tan claras y bien dibujadas las figuras así como las construcciones que las componen y estar difundidas con tanta prodigalidad que la simple figura casi basta para su debida comprensión, pudiendo servir no más el texto como á complemento. Así lo debería sentir Mr. Adhemar cuando al componer su obra la dividió en dos tomos, uno el texto el cual es breve, conciso en extremo y de muy poca extensión, mientras que el segundo tomo que encierra el atlas de láminas, es por demás rico en éstas, supliendo el ingenio del trazado y soluciones en cantidad y calidad á lo exiguo del primer tomo expresado.

Aparece de novedad en esta obra, las mejoras introducidas por el autor en el problema difícil de las bajadas, las juntas de la bóveda elíptica y las curvas límites del capialzado de Marsella.

115. No le va en zaga C. F. A. Leroy pues publica en el año 1844 su *Tratado de Estereotomía* y si bien el trazado de láminas no es tan numeroso y correcto como el de su colega Adhemar, en cambio su trabajo resulta ser el de un hombre profundo, nimio hasta en los más insignificantes detalles concluyendo el problema del modo más completo que darse pueda. En toda ocasión y por poco que las circunstancias se presten á ello, recuerda y pone en práctica, teoremas, proposiciones y propiedades deducidas de ciencias anteriores, siendo preciso con esto que el lector esté bien impuesto en las citadas teorías. La obra de Leroy bien puede decirse que en sí resume la verdadera filosofía de la Geometría Descriptiva.

Dice en su advertencia preliminar que ha coleccionado todos los problemas de más interés y que realmente se utilizan en el terreno de la práctica.

116. Además de estos autores otros muchos han publicado con fruto trabajos referentes á la Estereotomía de la Piedra, en especial en Francia y Alemania, así como en Inglaterra opúsculos concretados cada uno de ellos á teorías sueltas. El número de estas obras es hoy día tan considerable que sería prolijo enumerarlas razón por la cual no las citamos, máxime cuando todos han partido como era natural de los métodos expuestos por los dos grandes maestros citados representación genuina, cada uno de ellos de por sí de la perfección en el límite que es dado alcanzarla en lo humano, el uno en el terreno de la práctica y el otro en el que informan los conocimientos especulativos.

117. Época contemporánea.—No existe hoy día que digamos, tipo propio de Arquitectura bien definido y que caracterice nuestra época. Desde la llamada segunda restauración que concluyó con el abuso de una servil imitación de las obras ejemplares de Grecia y Roma, ha ido comunicándose el contagio de tal modo de obrar, que sucesivamente; como si aquellas no hubieran sido en bastante número; en pos de ellas se ha ido acudiendo á las fuentes de los demás estilos para caracterizar á los nuevos edificios dependiendo la elección de las tendencias y simpatías de los artistas hacia cada una de aquellas manifestaciones del arte.

Por otra parte no puede negarse que está abierta en nuestros días una nueva era para la arquitectura especialmente la civil, dependiendo esto del nuevo orden de cosas, costumbres y adelantos con que cuenta la sociedad actual. Los progresos de la industria, del comercio, de la alta banca que tiene tendencia á reunirse en grandes asociaciones acumulando fabulosos capitales propios para abordar grandes empresas, todo ha venido creando un nuevo orden de necesidades en las grandes y públicas construcciones dignas de poner á prueba á los hombres de ciencia y arte. Quizá no sea ahora tan frecuente la edificación de templos, pero en cambio las nuevas construcciones tendrán por objeto la creación de grandes palacios para exposiciones, edificios destinados á bolsas, espaciosos mercados, estaciones de ferro-carril, puentes, viaductos, etc., etc , los cuales ofrecerán otros tantos medios para embellecimiento de las ciudades. En nuestro arte lo mismo que en otro cualquiera no puede negarse que se está atravesando una especie de evolución de ideas llevadas por la misma na-

turaleza de los acontecimientos. Lo cierto es que siendo otros los datos ha de ser otro el resultado. El teatro de la Nueva Opera de París no tiene nada de común con los otros edificios del mismo género que antes se levantaban.

El Capitolio de Washington tiene un carácter bien distinto de las obras análogas de los siglos anteriores, los tan famosos palacios de cristal son concepciones que no tienen precedentes en el trascurso de la historia del arte.

Puede también observarse que en virtud de los nuevos materiales puestos á contribución, hay una tendencia á proscribir la piedra para las obras que forman techo dando especial preferencia al ladrillo combinado con el hierro, quedando así aquel material relegado para la construcción de simples muros; y este hecho indicará por sí solo que hoy día los grandes problemas estereotómicos están dados casi al olvido dejándose de emplear el material pétreo á menos que no sea cuando hay que acudir á forzosas restauraciones ó prosecución de otras empezadas pertenecientes á épocas muy lejanas.

Finalmente sea como fuere y tomando el estado de cosas tal como se presenta, es indudable que con todo á limitarse las construcciones de piedra á simples muros de sillería en donde se ostenten aberturas y arcos de distintas formas, caprichosas molduras y cornisas, esbeltas y elegantes columnas coronadas por ricos capiteles y en fin el ornato llevado del modo como sea inspirada la fantasía del autor, se pueden admirar concepciones bien originales que contribuyen á la esperanza que en tiempo no remoto será un hecho el nacimiento de un nuevo estilo, gracias al talento que despliegan en sus originales trabajos, los nuevos artistas que se forman al calor de una época en la cual las evoluciones se suceden con vertiginosa rapidez.

Y para terminar este bosquejo histórico en el cual se han pasado en revista las distintas fases en que ha pasado el corte de piedras en las épocas que han constituído estilo, mentaremos varios ejemplos contemporáneos y recientes en los cuales la piedra ha sido el elemento principal de construcción.

118. Es uno de tantos y originalísimo en su clase la fachada de la casa del opulento capitalista y amante de las bellas artes D. Eusebio Güell.

No puede por cierto achacarse á su autor de que haya recurrido al plagio, pues su trabajo es único en su género é

inspirado en su modo especial de ser y sentir el arte (Figura 111).

Presenta en su conjunto un carácter severo y al mismo tiempo rico sin pecar en la exageración pues debe su buen aspecto á la acertada distribución de las simples líneas que forman la fachada. Exenta de adornos inútiles y garambainas que sobrecargan los paños, éstos se presentan libres de toda

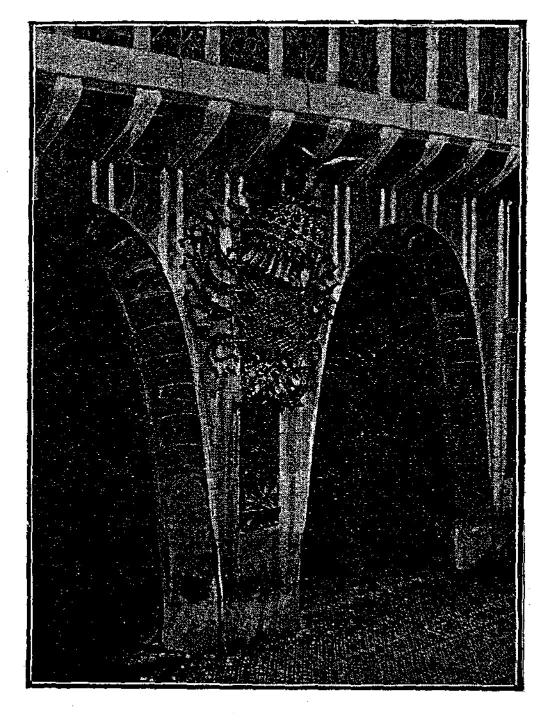


Fig. 111.—Fachada de la casa de D. Eusebio Güell.

envoltura que aprisionarles pudiera, tendiendo así con su franca desnudez á que luzcan los verdaderos miembros arquitectónicos, fiando solamente el efecto en la pureza del dibujo, distribución de las bien trazadas líneas, buenas proporciones entre los vanos y macizos así como en las originales y acertadas formas de las aberturas, en especial todo el basamento con sus especiales y bellas arcadas al parecer

parabólicas aunque algo alteradas en el extremo de sus ramas, producen gran sensación é imprimen un carácter de suma solidez y severidad á toda esta fachada, cual obra es debida al aventajado arquitecto D. Antonio Gaudí.

119. La Universidad de Barcelona (Fig. 112) obra del conocido arquitecto D. Elías Rogent; empezada en el año 1863 y concluida diez años después. Magnífica y grandiosa

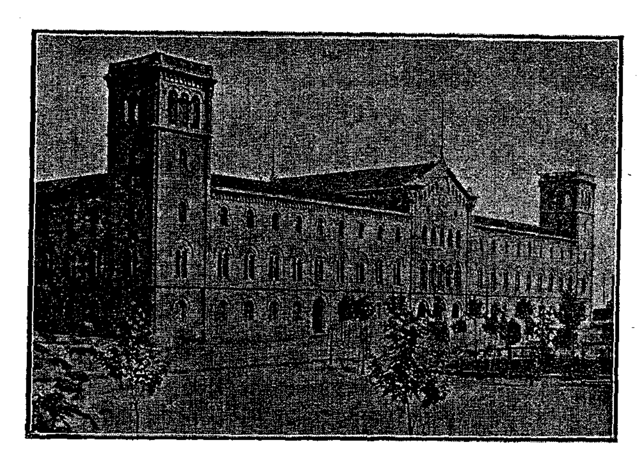


Fig. 112.—Universidad de Barcelona.

fábrica, construida en su mayor parte de cantería y en su extensión ocupa casi dos manzanas del Ensanche. Las fachadas sencillas y severas como serio y austero era el estilo de arquitectura que privó en los monasterios, cuyo parece ser el que inspiró al ilustrado autor en la composición de tan importante edificio, teniendo en cuenta sin duda que hubo un tiempo que este género de arquitectura privaba entre la gente que poseía toda clase de saber. Hay en la Universidad algún problema recomendable de Estereotomía.

120. La (Fig. 113) nos representa la iglesia del monasterio de las Salesas, una de las mejores obras de su género construidas recientemente en el extenso Ensanche de Barcelona. Hermoso templo debido al lápiz del inspirado arquitecto D. Juan Martorell quien ha sabido hermanar la armo-

niosa distribución de masas exteriores con las condiciones y necesidades del interior.

Magestuoso y atrevido aparece al mismo tiempo el cuerpo central con su elevada torre y chapitel. Siguiendo el Sr. Martorell las buenas tradiciones tiene un acierto especial en aplicar el ornato, pues poco aficionado al refinamiento y afectación de magnificencias más costosas que útiles es parco y previsor en los *aderezos*. Amigo del ornato sí; pero sin ninguna clase de exageración y solo cuando las circunstancias le impelen á ello. La pureza de formas y proporciones acertadas, á la vez que la severidad y buen dibujo de las diversas líneas y molduras, hacen tal impresión al espectador que le convence al fin que la obra que tiene á la vista, aunque obedece á prácticas y sistemas antiguos de un arte que tanto brilló en su época; no desmerece en nada de él la obra actual pues sosteniendo en sus sólidos principios las tradiciones de los siglos XIII, XIV y XV no solamente aleja la idea de próxima degeneración sino que demuestra alcanzar alguna ventaja dado el sistema distinto en la construccion que hoy priva. Los materiales empleados son la piedra combinada con el ladrillo echando mano para el revestimento, del azulejo. La cantería está labrada con suma pulcritud.

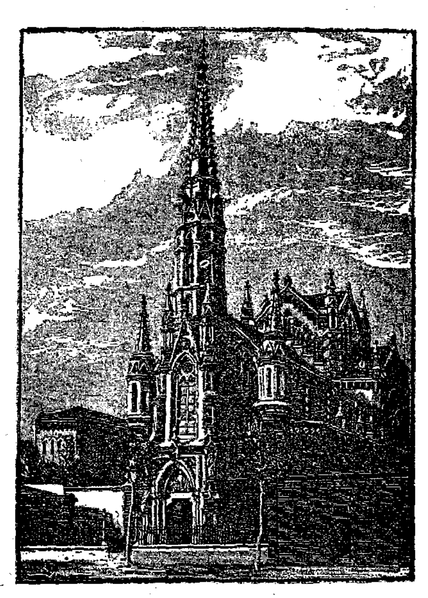


Fig. 113.—Monasterio de las Salesas.

121. **El Museo Martorell.**—(Fig. 114). Debido al malogrado arquitecto D. Antonio Rovira y Trias. La particularidad de estar unidos con tan estrechos lazos de parentesco con

este arquitecto veda á que expongamos de esta obra los méritos ó defectos que pueda tener, nos concretaremos pues á transcribir textualmente las cuatro líneas que sobre el particular publicó recientemente una revista ilustrada.

Dice así: No lejos del hermoso Umbráculo, entre la puerta que el Parque tiene frente al paseo de la Aduana y la que se vé desde la calle de la Princesa, encuéntrase el Museo de

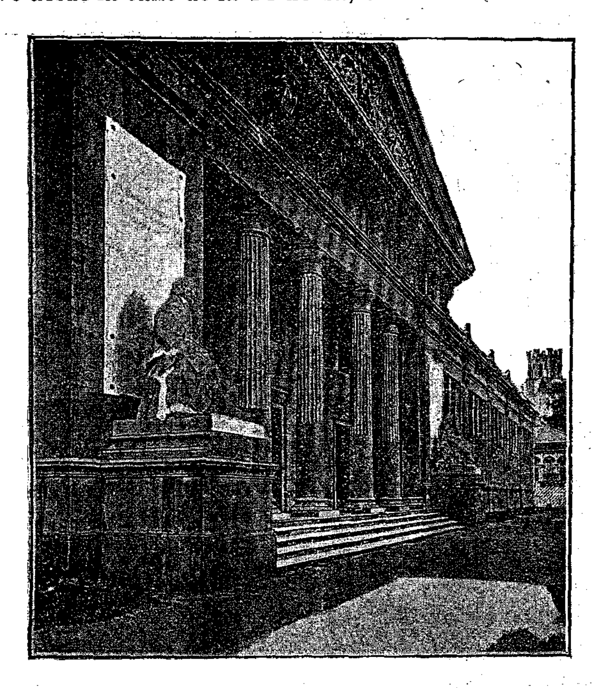


Fig. 114.—Museo Martorell.

Historia Natural, templo elevado á la ciencia, y testimonio perenne de la gratitud que Barcelona debe al sabio Martorell y Peña, que al legar á la ciudad sus valiosas colecciones la dotó de un inapreciable elemento de cultura.

El *Museo* hállase rodeado de hermoso jardin, y es sin disputa uno de los edificios más bellos y severos que posee la capital de Cataluña. La fachada se compone de tres cuerpos; dos laterales, de una elegancia y sencillez superiores á todo

encomio, y un cuerpo central adornado con las estatuas de los naturalistas Salvador y Azara, ambas de mármol, y constituido por cuatro columnas dóricas sobre las que descansa un frontón, tan notable por su relieve como por la pureza de sus líneas.

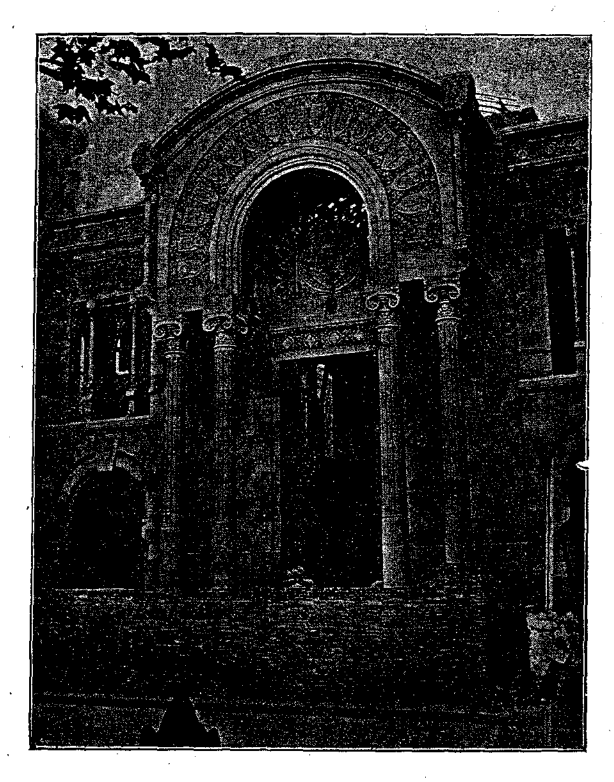


Fig. 115.—Palacio de Justicia. Barcelona.

122. Palacio de Justicia.—Grandiosa y magnífica obra hoy en construcción cuyo proyecto fué confiado á los entendidos arquitectos D. José Doménech y D. Luis Sagnier, bajo los cuales corren también muy acertadamente los trabajos relativos á la dirección.

Es su fachada de cantería (Fig. 115); suntuosa y severa cual conviene al carácter del edificio, más no esa severidad

que va acompañada en muchas concepciones con una rigidez de formas que deprimen los cuerpos que las sustentan, y que hacen en definitiva un conjunto pesado concluyendo con dejar huellas é impresiones algo sombrías en el ánimo del espectador. No, todo lo contrario sucede con el inspirado dibujo de la fachada que nos ocupa, pues demuestra perfectamente como caben y se armonizan dentro de un mismo conjunto la severidad de formas, pureza de líneas con lo rico y esbeltez de sus detalles, interesando favorablemente la atención. Digánlo sino aquellos hermosos y bien combinados ventanales acompañados de atrevidas y esbeltas columnas pareadas que contribuyen á dar proporción al vano rematando luego éste con un interesante friso ocupado por bajos relieves, y encuadrando toda la abertura con otras columnas más robustas destinadas á dar apoyo á las bien cinceladas estatuas que dan representación genuina de alguna celebrada eminencia. La magestuosa portada con sus cuatro columnas jónicas sobre las cuales arranca la original arcada que cierra la abertura, las ventanas de los bajos con sus especiales guardapolvos de carácter robusto y elegante al mismo tiempo, nos dan pruebas bastantes del mérito y efecto que alcanzará este edificio una vez haya llegado á su terminación.

123. Las obras de la Catedral de Barcelona.—Atención hecha á la gran trascendencia é importancia que revisten los trabajos que hace algún tiempo se han emprendido en la Catedral de Barcelona, creemos han de merecer preferente lugar en esta hojeada histórica de la estereotomía de la piedra, aunque el arte arquitectónico desarrollado en este templo obedezca á prácticas que privaban en época anterior á la actual de que tratamos. De todos modos son los trabajos que hoy se llevan á cabo contemporáneos y aquilatan mejor el mérito de sus autores, al tener la habilidad y talento suficientes para amoldarse y ponerse á la altura de sus predecesores al emprender el mismo camino por aquellos trazado.

Es la sublime creación que informa nuestra catedral obra de tal índole que ha sido necesario el paso de muchas generaciones para alcanzar el estado en que hoy se encuentra su construcción y aun á pesar del tiempo transcurrido quedaron sin terminar varios é importantes detalles como eran la fa-

chada principal y el cimborrio. En ella y en los siglos XIII, XIV y XV se desplegaron todas las bellezas de que es susceptible la arquitectura ojival, siendo hasta el final del siglo XIX



Fig. 116.—Fachada de la Catedral de Barcelona.

que llegara el tiempo reservado para el principio del fin de tamaña obra de arte.

Representa la (Fig. 116) la fachada principal, concepción debida al malogrado y eximio arquitecto D. José O. Mestres, compañero de grata memoria. En su concienzudo trabajo y

que llevó á cabo según las instrucciones que se le tenían planteadas y á las que se había de sujetar, demostró una vez más su gran pericia en el arte de la montea, llevando los despiezos del modo más racional que es dable á construcciones de la índole de la obra de que se trata.

Construyóse pues la fachada, sin que en ella figuraran las torres laterales que hoy día se construyen bajo la acertada dirección del inteligente y distinguido arquitecto D. Augusto Font, quien tiene también á su cargo el importante trazado y trabajos de construcción referentes á la cúpula del cimborrio todo lo cual ha de dar feliz remate al edificio en general.

Este último problema era algo arduo, pues ya en su respectiva época parece se trató de llevar á cabo la construcción de la cúpula, desistiendo de ello por las dificultades que se opondrían para la realización de tan laudable obra.

El Sr. Font hombre concienzudo y experimentado ha hecho con muy buen tino preceder á sus importantes trabajos un detenido estudio mecánico á la vez que atento reconocimiento de toda la construcción actual, resultando que si bien los pilares tenían la sección necesaria para resistir la nueva carga que se les iba á imponer, no así puede afirmarse con los demás detalles que juntos habían de constituir sólida base para el asiento de la masa ulterior, destinada á formar la nueva cúpula, siendo tanto así, que los arcos torales aparecen menguados en su grueso y esto á pesar de estar formados con dos roscas en las cuales los entrantes y salientes del molduraje coadyuvan por su parte á la disminución del grueso.

Además las pechinas situadas en los ángulos para ganar espesor en sus voladas y así constituir aérea, esto es, como colgada la planta octogonal en donde arrancar debía la verdadera forma de la cúpula; no reunían tampoco condiciones ventajosas para imponerlas carga de trascendencia, ya por la construcción que de origen se escogía, ya también dado el caso de ser aquella solución admitida habían de llevar el aparejo de un modo por cierto distinto del allí empleado. En efecto, aquí en este caso, ¿qué es lo que constituye la pechina? Pura y simplemente una bóveda de forma triangular llevada por el sistema de las ojivales; esto es, nervios principales con su clave y témpanos que se apoyan en esta osamenta y como es bien sabido que los aristones de esta clase de bóvedas están llamados tan solo para servir de costillas y sostener los témpanos y no para que en ellos carguen pesadas y altas construcciones que deformar pudieran dicha osamenta, de aquí lo inconveniente de este sistema. Pero aun hay más, dado por admitida semejante clase de bóveda se comprende que de llevarse ella á cabo había de hacerse en condiciones las más ventajosas dependientes de la índole del sistema; cuales eran, el poder dar suficiente peralte á los aristones principales afectando éstos una curvatura apropósito para aguardar con ventaja el caso de llegar el momento de la reacción.

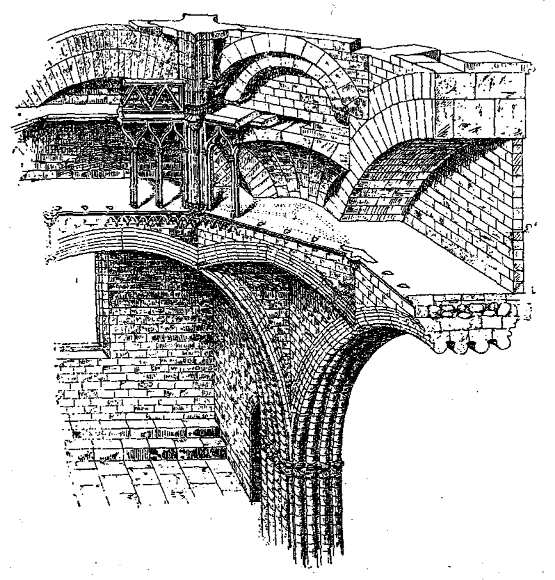


Fig. 117
Construcción interior del Cimborrio de la Catedral de Barcelona.

Pues bien, en este nuestro caso no puede tener lugar dicho propósito, pues es tan menguado el peralte de los arcos y bóveda en general que así poco le falta para degenerar en una simple bóveda plana discontinua; y decimos discontinua por oponerse de todos modos á la superficie general de intradós lo saliente de las nervosidades.

Como si no fuera esto bastante, los arcos de embocadura de estas especiales bóvedas (Fig. 117), van á buscar su apoyo arrancando á los dos tercios de los impotentes torales que-

brantando y como poniendo en tortura su molduraje. Con esto se comprende perfectamente que de cargar la inerte masa sobre dichas pechinas éstas habían forzosamente de salir maltrechas, comunicando los fatales accidentes á los torales incapaces de sufrir tamaña arremetida.

No es pues de extrañar que hoy día, después de reconocida esta construcción se encuentre algo alterada, con algunas juntas abiertas y en cambio otras muy comprimidas, corroborando así en su reciprocidad el movimiento que en su tiempo tuvo lugar y que quizá á él fué debido la separación cuyas huellas se notan en la unión de las dos roscas que forman el arco toral y producido á consecuencia del asiento que haría esta construcción cuando se trató de imponerle la nueva carga, por no estar en las debidas condiciones de admitirla.

En su virtud obra el Sr. Font con muy buen acierto en dejar en reposo estos arcos torales y pechinas construyendo otros arcos torales más potentes cargando sobre los pilares cuyas líneas de arranque en la imposta están sobre el plano horizontal que prolongado pasaría por los puntos culminantes de las claves de los torales existentes. Tiene luego espacio suficiente para alojar en el ángulo de estos nuevos torales una nueva pechina cuya superficie de intradós está más adecuada, es más racional y ofrece mejores condiciones de solidez que las primitivas, su forma ya ahora suficientemente peraltada, lo arqueado de su superficie esférica, las ventajas que ésta facilita en el despiezo, lo perfectamente contrarrestada que está dando así una masa homogénea, continua y unida en las mejores condiciones con los torales adyacentes, cambian por completo la faz del problema de construcción siendo indudablemente uno de los timbres más preclaros de los que contará el Sr. Font en su ya larga carrera artística.



CAPÍTULO SEGUNDO

DEFINICIONES É IDEAS GENERALES.—EXPLOTACIÓN DE CANTERAS. HERRAMIENTAS.—LABRA.—PRINCIPIOS FUNDAMENTALES.

124. Entre las aplicaciones que produce la práctica de la Geometría Descriptiva es sin duda alguna la **Estereotomía** la que ofrece más importancia, y cumple mejor con las necesidades del constructor.

La palabra Estereotomía deriva de las voces griegas **Stereos** sólido y **Tomé** sección, esto es, sección de sólido.

Según esto, la Estereotomía no tiene otro objeto, que estudiar el modo ó sistema más ventajoso y económico de cortar los materiales que se emplean en la construcción; así es que hay Estereotomía de la piedra, de la madera y del hierro según se corte cada uno de ellos. Fijándonos pues en el primero ó sea la piedra procuremos estudiar los distintos cortes á que se presta en los casos particulares que la práctica nos puede presentar. Así diremos que el **Corte de piedras** es la ciencia y arte que nos indica los medios más sencillos para cortar y labrar el material con toda la economía y mejores condiciones posibles satisfaciendo al mismo tiempo todos los cortes á un proyecto ó conjunto de antemano dado en proyecciones.

Anteriormente, todas las operaciones de que se ocupa la Estereotomía, formaban lo que se llamaba el **Arte de la montea.**

125. Piedra: Sustancia mineral sólida, incombustible insoluble en el agua y nada maleable; se compone de óxidos y sales metálicas, y su carácter distintivo es la presencia del oxígeno.

Son muchas las variedades de piedra que existen en la naturaleza, pero nosotros nos bastará bajo el punto de vista de su empleo en la construcción, dividirla en dos grandes secciones cuales serán las calcáreas y las silíceas; las primeras cuyo carácter especial es de descomponerse bajo la acción del fuego y de los ácidos. Predomina en ellas los carbonatos y en particular el de cal. Dentro de sus distintas variedades se encuentran los mármoles. Esta clase de piedra se presenta dispuesta en lechos, capas ó estratos distintos y paralelos entre sí horizontales en su primer estado, puesto que proceden de materiales depositados de este modo en el fondo de las aguas, ó inclinados después de formados sin perder no obstante el paralelismo. Las masas ó rocas que contienen estas piedras son las conocidas por sedimentarias. Las segundas, esto es; las silíceas resisten á la acción del fuego sin descomponerse. En estas consideraremos no más las areniscas y los granitos.

La arenisca formada enteramente de granos de sílice ó de cuarzo más ó menos grueso, aglomerados. Su color es distinto según sus diversas clases, pero el blanco-amarillento, rojizo y gris suelen ser los tintes dominantes.

Se encuentran, como las calizas con las cuales alternan generalmente en casi todos los terrenos de sedimento formando sistemas de capas de más ó menos potencia y más ó menos inclinadas. Presentan grados de tenacidad sumamente variables. Las areniscas, en general están frecuentemente mezcladas con caliza, que se encuentra en mayor ó menor abundancia. Se las designa entonces bajo el nombre de areniscas calcaríferas ó de calizas silicíferas, según que predomine una ú otra de estas sustancias.

El granito es de estructura cristalina, compuesto de cuarzo, feldespato y mica. Esta piedra es muy dura, da chispas con el eslabón, su fractura es plana, ó conchoidea, y es generalmente gris ó rojiza. Suele presentarse en masas considerables no estratificadas. Es una de las mejores piedras de construcción; pero la manera de encontrarse en la naturaleza y su gran dureza la hacen casi siempre de una explotación y de una labra costosa y difícil. El granito se presta para las

construcciones monumentales; los Egipcios y los Romanos hicieron de él un uso frecuente.

126. Cantera.—Llámase así la formación geológica de donde se extraen las piedras para una construcción cualquiera.

La operación que tiene por objeto extraer la piedra de la cantera es lo que se conoce con el nombre de **Explotación.**

Hay varios sistemas para explotar las piedras pero los más principales pueden reducirse á cuatro que son: 1.° á cielo abierto que tiene lugar cuando el material se encuentra á flor de tierra ó cubierto cuando más, por una capa de tierra de poca altura; entonces la extracción se efectúa de arriba á abajo.

2.° Por galerías subterráneas. Tiene lugar ordinariamente cuando la cantera alcanza el flanco de la montaña.

3.° Por medio de pozos. Cuando hay imposibilidad material de entrar por el flanco acudiendo en su lugar al ingreso por la parte superior por medio de pozos.

4.° Por arranque y desprendimiento (método seguido en Barcelona).

127. Primer caso: á cielo abierto. Ante todo conviene proceder al arranque y desaloje de la capa superior de tierra y detritus que cubra la piedra, operación que toma el nombre de desbroce, y efectuar el trasporte á una distancia tal para que no sea obstáculo á interrumpir las futuras operaciones. Descubierta que sea se observará si presenta en su superficie grietas naturales, lo cual suele acontecer la mayor parte de veces; y en este supuesto, tal disposición facilita el trabajo pues entonces, todo se reduce á establecer cuñas aceradas en las hendeduras encontradas para que golpeándolas fuertemente con mazas de 5 á 10 kilos para su completa introducción, hagan más francas dichas hendeduras y más fácil la división en partes parciales de cada capa, la cual se dividirá valiéndose de cuñas intermedias ó ya combinando dicho medio efectuando la percusión sobre la superficie de dicha capa con grandes mazos ó martillos. Se procederá á la extracción y operaciones anteriores atacando parcialmente las capas sucesivas esto es capa por capa, pues de otro modo no es muy fácil se saque tanto partido de la explotación por el malogro del material al salir demasiado

fraccionado. Dividida ya la capa ó faja de piedra en la extensión que se proponía, resta solamente desalojar las distintas partes parciales, así obtenidas, valiéndonos de picos, cabrestantes, palancas, etc.

Palanca (Parpal). Son barras de hierro de 20 á 30 kilos que sirven para extraer los bloques cuando se tiene la roca cuarteada, lo cual se consigue introduciendo la palanca en las grietas y comunicándole un movimiento de vaivén al manejarla tres ó cuatro hombres.

Podría suceder el caso de que no existieran estas hendeduras naturales de que se ha hecho mención y entonces tendríamos que producirlas artificialmente valiéndonos de cuñas de hierro fuertemente aceradas las que establecidas de trecho en trecho á lo largo de una serie de líneas paralelas señaladas en la superficie del terreno nos irían con su percusión abriendo el material por zonas sucesivas que á su vez si así conviniera también podrían dividirse parcialmente. Este último método es el que se sigue cuando se trata de explotación de mármoles en donde se cuida de disminuir el detritus y obtener grietas tales que ya de antemano se sepa que las piedras que se van á obtener no quedarán inutilizadas por los efectos de la saca. Más cuando se trata de piedras comunes y se desean medios más breves y expeditos aún á costa de que se hienda la piedra en direcciones imprevistas, entonces es que se puede echar mano del barreno.

128. Barreno.—Consiste este instrumento en una larga barra de hierro cilíndrica (Lám. 1.ª, Fig. 1.ª) terminada en sus extremos por dos filos acerados y con el cual se practica en la roca un agujero cilíndrico. Sus dimensiones ordinarias cuando las maneja un solo hombre suelen ser de 0'70 metros de largo por 0'02 metros de diámetro y los huecos abiertos tienen en general 0'30 metros de profundidad y 0'02 metros de diámetro. Si hay necesidad que las dimensiones sean mayores, entonces se emplean varios hombres para producir el hueco, sentándose uno de ellos para dirigir el vástago de hierro mientras que los otros efectúan la percusión y entonces los vacíos cilíndricos pueden alcanzar hasta 6 centímetros y 1 decímetro de grueso por una altura de uno ó dos metros.

Es necesario advertir que á cada golpe de barreno los operarios que lo produzcan han de hacer girar un poco la

herramienta para que el bisel situado á la extremidad vaya mordiendo la piedra y así facilitando el camino para alcanzar la profundidad debida, más al objeto de que el trabajo que se hace con este instrumento pueda hacerse con fruto, antes de él y con el exclusivo fin de iniciar la cavidad cilíndrica se suele emplear otro barreno pequeño que nuestros obreros conocen con el nombre de **pistolet**, y con el cual por medio de la percusión se horada hasta la profundidad de cuatro decímetros en cuyo estado se hecha mano inmediatamente del anterior hasta llegar á la profundidad debida, teniendo así ya establecida la hembra del barreno.

En virtud de esta operación habrá ido formándose en el agujero un polvillo ó detritus procedente de la roca molida, lo que para facilitar esta desagregación se hecha un poco de agua que á la vez sirve para que la barrena no se destemple con mucha frecuencia, tapándose enseguida la abertura (al objeto de que el líquido no rebase) con una masa de tierra mezclada con raíces vegetales pero de modo que no impida el movimiento de la barra. Cuando la mezcla así formada por el agua y el detritus dificulte la acción franca del trabajo entonces será preciso el desaloje de la materia así producida. El barreno puede terminar en sus extremos con distintos cortes como demuestran en detalle las (Figs. 1'. 1''. 1'''. Lámina 1.ª).

129. Cuchara.—(Lám 1.ª, Fig. 2.ª). Llamado así este utensilio por la figura que afecta. Especie de varilla de hierro con punta algo afilada y encorvada cuyo extremo así dispuesto facilita el que sea recogido el resíduo formado en el interior del agujero. Empleando pues este instrumento el número de veces sucesivas que sea necesario, al introducirlo en la hembra del barreno se logrará finalmente dejar vacuo y expedito el agujero practicado.

130. Ya así dispuesta la hembra del barreno se efectúa inmediatamente su carga empleando en general como sustancias explosivas la **pólvora de mina** y la **dinamita**. La pólvora de mina se proporciona en granos de forma esférica en lugar de ser poliédrica como lo son las otras variedades. Las componentes de la pólvora son el nitro, azufre y carbón. La combustión, hace desarrollar en un pequeño espacio una gran cantidad de gases cuya fuerza expansiva es lo que

produce las grietas, principalmente en las superficies de mínima resistencia.

No puede darse regla fija para la cantidad de pólvora necesaria al objeto de limitar su acción para el cuarteo de la roca sin proyectarla á distancias; es pues necesario sujetarse á la práctica y aumentar ó disminuir la cantidad de pólvora empleada en los primeros ensayos según los resultados que éstos han producido; pero, por regla general y término medio cabe la proporción de la carga del tercio al cuarto de la profundidad del hueco. La pólvora se introduce en grano cuando el barreno es vertical quedando aquélla en inmediato contacto con las paredes de éste. Pero si el agujero es horizontal ó inclinado al horizonte entonces puede introducirse envolviendo la sustancia explosiva con cartuchos de papel.

131. Viene enseguida (Lám. 1.ª, Fig. 3.ª) la operación del taco de la carga. Consiste en llenar toda la parte vacía que ha quedado del cilindro hueco, después de introducida la pólvora, de una sustancia que haga el oficio de taco la cual puede consistir en arcilla, arena fina y seca, piedra de yeso, serrín, esparto, etc., etc.; pero antes de la introducción de estas sustancias, se introduce una aguja de hierro y mejor de cobre (Lám. 1.ª, Fig. 4.ª) la cual coge toda la profundidad del hueco hasta alcanzar el grueso firme de la pólvora y estando en contacto directamente esta aguja con las paredes del barreno. El oficio de esta aguja es abrir un estrecho conducto vertical á lo largo del barreno al objeto de facilitar la introducción de la **mecha** que ha de estar en contacto con la pólvora. Con el fin de aumentar el efecto de los tacos se comprimen con una **atacadera** (Lám. 1.ª, Fig. 5.ª) provista de una ranura que permita el paso de la aguja. concluido el atraque se saca lentamente la aguja girándola con cuidado y sacándola al mismo tiempo y así con estas precauciones se conserva inalterable el agujero por ella practicado.

132. Las mechas ordinarias suelen ser cañones de pluma, tripas, tubos de papel que se rellenan de pólvora pero siempre son preferibles las mechas de seguridad de Vikford consistente en una cuerda de cáñamo ó algodón embreada por el exterior, torcida como hélice y armada interiormente de una alma ó filete de pólvora, y así puede emplearse hasta

debajo del agua por estar preservada de la humedad con el forro anteriormente mentado; tienen un diámetro de unos 5 á 7 milímetros, y contienen de once á doce gramos de pólvora por metro lineal. Esta última mecha lleva la ventaja sobre las anteriores por no necesitar el empleo de la aguja pues puede colocarse directamente en el agujero antes que la pólvora y el taco apoyándola siempre con las paredes del barreno pero asegurándose de disponerla de suficiente longitud para que interese en el grueso de la pólvora (Fig. 3.ª, Lámina 1.ª).

133. Concluye esta clase de trabajo con la aplicación del fuego y producir finalmente la explosión, y para esto cuando se emplean mechas ordinarias, basta prender fuego al cebo ó al reguero de pólvora; pero si se usan mechas de seguridad se hace preciso destorzar el tejido en su parte extrema haciendo arder enseguida la pólvora que contenga. Para la debida seguridad de los obreros que prenden fuego á la mecha es necesario saber de antemano la longitud que ha de tener ésta, cuyo requisito se consigue con algunos prévios ensayos que nos lo indiquen de una manera práctica. Por término medio sépase que un metro lineal de mecha de seguridad tarda en arder de 20 á 30 segundos.

Cuando se trata de grandes voladuras y explotaciones de mucha extensión suele también aplicarse la electricidad para prender fuego á los barrenos en cuyo caso éstos adquieren también dimensiones mucho mayores exigiendo medios más complicados para formarlos, como son máquinas de perforación movidas por el vapor, agua ó aire comprimido; y la pólvora de mina se sustituye por la dinamita.

134. **Dinamita**.—Es una mezcla de nitro glicerina con cierta materia sólida, en especial con ciertas variedades de sílice y alúmina. Este explosivo lo propuso el ingeniero sueco Nobel en el año 1868. Valiéndose de esta mezcla consiguió evitar los funestos resultados de la demasiada inestabilidad de la nitro glicerina en estado líquido, y sacó partido al mismo tiempo de la grandísima potencia mecánica que se desarrolla en el acto de la explosión.

Los efectos mecánicos que producen la nitro glicerina, y la dinamita son iguales con la única diferencia que la primera explota con la mayor facilidad ya sea por efectos mecá-

nicos ó de calor lo cual la hace sumamente peligrosa mientras que la dinamita no explota sino en circunstancias muy especiales. Un gran número de experiencias hechas por el ingeniero Nobel dieron siempre por resultado demostrar que no hay peligro en el transporte y en el manejo de la dinamita (mientras que no tenga pistón) y en su conservación en los almacenes. Que la fuerza que se desarrolla en la explosión puede calcularse á lo menos en ocho veces mayor que la pólvora ordinaria. Su acción es rapidísima y local. Sin inconveniente puede ser mojada siendo apropósito en virtud de esta propiedad para poder aplicarse á las rocas que se encuentren bajo el agua. En los trabajos subterráneos el humo que produce no es nocivo y tampoco incómodo.

Berthelot en una de sus lecciones sobre el estudio de los explosivos demostró que las teorías térmicas resultan muy favorecidas con el empleo de la dinamita. Dice que esta sustancia produce menos estragos que la nitro glicerina porque el calor desarrollado se divide entre el producto de la explosión y las sustancias inertes; y que el aumento de la temperatura es menor como menor es también la fuerza inicial engendrada. La sílice y la alúmina anhidra tienen un calor específico que se iguala aproximadamente al del producto gaseoso de la explosión de la nitro glicerina. A peso igual y en una capacidad perfectamente llena la materia inerte de la dinamita rebajará de cerca la mitad la temperatura y de aquí la fuerza inicial.

De donde se infiere que á igual peso de nitro glicerina las fuerzas de rotura serán atenuadas proporcionalmente al peso de la materia inerte mezclada, mientras que el trabajo mecánico máximo conservará su valor, pues será proporcional al peso de la nitro glicerina. Esta misma circunstancia hace más difícil el que la inflamación se propague entre una y otra parte de la masa, en virtud de que éstas son susceptibles de detonar cuando están sometidas á temperaturas próximas á 120°.

Si la detonación es producida por el choque con un cuerpo duro, las pequeñas partes sólidas interpuestas en el líquido repartirán la fuerza viva entre la materia inerte y la materia explosiva, y esto en una proporción que dependerá de la estructura de la sustancia inerte La elección de ésta es pues de gran importancia por ser capaz de modificar la ley de la explosión, introduciendo en el fenómeno grandes variedades como se comprobó con las experiencias del citado Nobel, de Girard, Millot y Vogt. Por otra parte el efecto útil de la materia inerte se manifestará cuando la mezcla sea homogénea, sin excedencia de nitroglicerina, puesto que el líquido que fluye propio de la fusión conserva todos sus caracteres y de aquí la necesidad de una estructura especial de la materia sólida inerte.

La nitroglicerina transformada en dinamita se conserva por largo tiempo sin que pierda ninguna de sus propiedades, continuando siempre unida con la materia silícea con la cual fué mezclada.

Vemos pues que la dinamita soporta los efectos del calor y del choque y únicamente explota cuando se la somete á una alta temperatura en vasos resistentes y herméticamente cerrados ó cuando se la somete á un choque violento entre cuerpos duros. Los efectos son más terribles en el caso de encontrarse congelada.

Arde sin explosión cuando se la comunica con una llama al aire libre. Cuando se quiere producir la explosión, se somete la dinamita á la acción del choque violento causado por la detonación de un fulminante. La explosión es instantánea, estallando las piezas más duras y los metales más resistentes sin necesidad de taco.

Según la cantidad de líquido explosible que contiene y la naturaleza del cuerpo poroso puede clasificarse la dinamita en tres clases.

Número 1. Elaborada con buena sílice que absorbe un 75 p. °/o de nitroglicerina; color claro y sonrosado. Se emplea para obtener el mayor efecto con el menor volumen de carga y siempre que ésta haya de obrar debajo del agua.

Número 2. Tiene un 50 p. °/o de explosivo, su color varía con la naturaleza de las materias inertes mezcladas. Su uso está indicado cuando el esfuerzo ha de actuar sobre una gran superficie.

Número 3. Contiene un 25 p. °/o de nitroglicerina, color terroso. Se aplica para la rotura de rocas.

Se encuentra la dinamita en el comercio en cartuchos de papel consistente pero impermeable; y los hay de varios tamaños. En cada barreno se colocan dos, tres, cuatro, etc., cartuchos según sea el tamaño de éstos y las dimensiones del barreno, el último de estos cartuchos se comunica con el extremo de la mecha ó el conductor en que se ha fijado el fulminante, cerrándolo otra vez y atándole á la mecha. Cada

cartucho se introduce en el barreno empujándolo con una atacadera de madera pero de modo que quede aire interpuesto, á fin de que pueda dar resultado la explosión; sobre el último cartucho que contiene el cebo se echa un poco de arena ó agua que sirve de taco dejando fuera una longitud suficiente de mecha para que los operarios puedan ponerse á salvo.

La principal fábrica de dinamita en España es la que está establecida en Galdácano próximo á Bilbao.

135. Empléanse también como sustancias explosivas aunque su uso no es tan frecuente; las siguientes. **La Nitroglicerina**; obtenida haciendo actuar el ácido nítrico sobre la glicerina ordinaria.

La Piroxilina ó algodón pólvora, se obtiene sumergiendo el algodón durante quince minutos, en una mezcla de ácidos nítrico y sulfúrico.

La dinamita goma de Nobel, que se compone de 93 partes de nitroglicerina y de 7 de algodón pólvora.

La pólvora amoniacal de Hércules se compone de 80 partes de nitrato amónico, 6 de carbón, y 10 á 20 de nitroglicerina.

La Sebastina. Pólvora en que se sustituye el nitro con nitroglicerina.

136. Cuando se trata de trabajos en grande escala se emplea también la electricidad para dar fuego á los barrenos; habiéndose empleado este procedimiento por primera vez por Robert, ingeniero inglés en el año de 1842, valiéndose de un aparato de su invención, aplicando en él la pila de Daniell perfeccionada. Hoy, el más reciente y de una composición y manejo sencillísimo es el del constructor austríaco **Mahlen A. Eschenbach** (Lám. 1.ª, Figs. 6, 6′, 6″), cual se compone de lo siguiente. En una caja de madera que está dividida en tres compartimentos (veáse la figura) se encuentran colocadas todas las partes de que se compone la máquina. En el compartimento de la derecha se vé la parte principal de la misma que está formada de dos discos, de cautchuc uno anterior *D* y otro posterior *D′* del mismo diámetro, en la parte inferior del disco hay un casquete también de cautchuc *d*, ambos discos tienen un movimiento de rotación por medio de su correspondiente manubrio *M* y son frotados por un cojinete *N* con piel de gato: de estos cojinetes parte un hilo metálico conductor *a g* que establece contacto con la armadura exterior del condensador *C* que viene á ser una botella de Leyden y lleva la corriente por el botón *c* á la punta metálica *s* situada en el compartimento interior de la izquierda. La armadura interior de la botella tiene un estilete metálico *p q* introduciéndose en el espacio *s q* que queda entre los dos discos de cautchuc *D*, *D′*, para tomar por influencia la electricidad de los dos discos al ser frotados por los cojinetes. Un botón *m* pone en juego una palanca *h n l* articulada para establecer contacto con la armadura interior *p* del condensador pasando esta corriente eléctrica al botón *r*: de éste y del botón *s* parten los conductores que comunican con el barreno debidamente lleno de dinamita y armado de su pistón para la consiguiente explosión. El condensador, próximamente la mitad, está envuelto en una pieza de cautchuc *x* para evitar pérdida de corriente.

La Fig. 6′ representa un corte transversal y la Fig. 6″ una proyección horizontal.

137. Cuando se trata de grandes voladuras y son necesarios mayores efectos en la explosión entonces pueden sustituirse los barrenos con vastas capacidades denominadas hornillos. Los hornillos en nuestro caso son unas cámaras construídas en el interior de las rocas y en las cuales se colocan las materias explosivas en gran cantidad á las cuales se les comunica fuego por la parte exterior con el auxilio del conductor, pues regularmente se emplea siempre la electricidad en este caso. El resultado de la fuerza expansiva de los gases y que se desarrolla en el seno de la masa pétrea es el movimiento instantáneo, de parte del monte ó montaña en donde se verifica la operación y de allí el sinnúmero de grietas, cuarteo y desgaje de la roca, saltando en distintas direcciones. Estas cámaras pueden establecerse llegando al sitio donde se construyen por medio de pozos ó galerías.

Por medio de **pozos** (Figs. 7 y 7′). En el punto en donde se crea conveniente, constrúyase un pozo á una profundidad que dependa de la distancia que se encuentre la altura escogida.

Desde el fondo del pozo se construyen enseguida varias galerías horizontales, tales son por ejemplo las *B B′*, *C C′* que en nuestro caso se cortan en ángulo recto y al extremo de estas galerías es en donde se construyen las cámaras ú hornillos y allí se coloca la pólvora en barriles ó la materia explo-

siva que se escoja, en estos barriles es en donde penetran los conductores. Los vacíos que dejan entre sí los barriles y con las paredes de la cámara, se rellenan con mampostería, (Figura 8) como igualmente las galerías, teniendo empero la precaución de dejar el paso franco al conductor. Las dimensiones de estas galerías suelen tener 1 metro de altura y 0'60 metros de ancho.

138. Por medio de **galerías**. (Fig. 9 y 9'). Se diferencia no más del caso anterior en que se entra en el fondo de la roca por una galería *A B* y á partir de una cierta longitud se cambia de dirección, construyendo varias galerías en distintos sentidos por ejemplo las *BC*, *BD*, al extremo de las cuales se construyen las cámaras del caso anterior.

La posición de los barrenos influye en su resultado y esto es circunstancia que requiere por parte de los obreros bastante práctica pues dicha posición depende de condiciones muy variables y complejas. En principio puede sentarse que la parte que se quiere hacer saltar, debe presentar menos resistencia que las demás; la forma de la pared, el sentido y extensión de las grietas, son circunstancias que deben guiar en la colocación de los barrenos, siempre destinados á hacer saltar las masas más afianzadas.

139. 2.° Explotación subterránea por medio de galerías.—Descubriéndose las capas por sus testas en los flancos de la montaña, se empieza abriendo en este flanco en la misma dirección de las bancadas (Figs. 10, 10', 10") una galería *C. D.* (la línea *A B* supone ser en esta figura la línea límite del flanco) de las dimensiones que se crean más convenientes para el servicio holgado que ha de prestar en el trasporte del material, prolongándose este pasaje hasta una extensión bastante, para alcanzar la masa principal que en cantidad y calidad se quiera explotar.

Llegado que sea el extremo de este pasaje se emprende el trabajo volviendo la dirección en ángulo recto á izquierda ó derecha para empezar ya la saca de las capas. A este fin se ataca la que parece ofrecer menos resistencia dividiéndola en piezas y fragmentos, prosiguiendo la operación hasta que se vea que las capas superiores vayan cediendo algún tanto á la vez en cuyo caso se las va sucesivamente desalojando en grandes pedazos por medio de cuñas y sustancias explosivas

cuando la calidad de la roca relacionada con la parte superior lo permita. Se vuelve á repetir luego la misma operación atacando las capas inferiores llegando así á formar al cabo de extracciones, un hueco en forma de cueva *M. N. P. Q.*, cual va agrandándose á medida que el trabajo va cundiendo. Sin embargo como esta caverna necesita que el techo natural de la misma tenga el debido apoyo, se ha de tener la precaución al ir quitando las capas, de dejar á trechos cortos una serie de pilares aislados *R. R. R.* formados por la misma piedra, pilares que algunas veces se auxilían por medio de pies derechos de madera cuyo número y distancia unos de otros ha de depender del grado de solidez y accidentes que pueda presentar el techo así como de la naturaleza de la piedra. La figura de su referencia representa la proyección vertical y horizontal de la cámara de donde se extrae la piedra; la proyección vertical de la galería *C. D.*, se vé en la figura de su referencia, los pilares *R* están expresados por la misma letra en proyección horizontal y vertical, *X. L.* la altura total desde la parte superior de la montaña hasta el plano horizontal en donde se empieza el acometimiento con la galería.

La (Fig. 10") demuestra para mejor conocimiento de estas indicaciones un corte transversal dado por el eje *C. D.* de la galería.

140. 3.° Explotación subterránea.—Por medio de pozos: Este caso se emplea cuando los bancos se presentan bastante profundos y no aparecen sus testas en el escarpe de la montaña como sucedía en el caso anterior. (La misma figura anterior nos servirá en el presente caso suponiendo no más que la masa está limitada en la línea *E. F.* en lugar de ser la *A. B*). El ingreso hasta llegar al núcleo de la piedra, se hace por medio de pozos, hasta llegar al punto más bajo cuya explotación se desea. Abriendo luego una galería *C. D.* y repitiendo la operación del caso anterior se llegará á la explotación en la cantidad que se desee. Los pozos han de ser suficiente holgados para la subida de los materiales, construyéndose la mayor parte de veces revestidos ó cuando menos acodalados pues que sus paredes están formadas por lo general y en la parte superior por terrenos movedizos.

En estas operaciones precisa precaverse de varios accidentes que pueden presentarse. Uno de ellos es la aparición de aguas subterráneas acudiendo en este caso á bombas y otros medios más ó menos potentes de agotamiento.

Los pozos hechos de distancia en distancia, además de hacer más cómodas y fáciles las operaciones del interior, comunicándose como es natural con el auxilio de galerias, establecen un tiraje eficaz para la renovación del aire que puede alterarse, ya por la respiración de los trabajadores, ya por la combustión de las lámparas, ya también por el desprendimiento de gases insanos que contribuyan á aumentar el aire deletéreo.

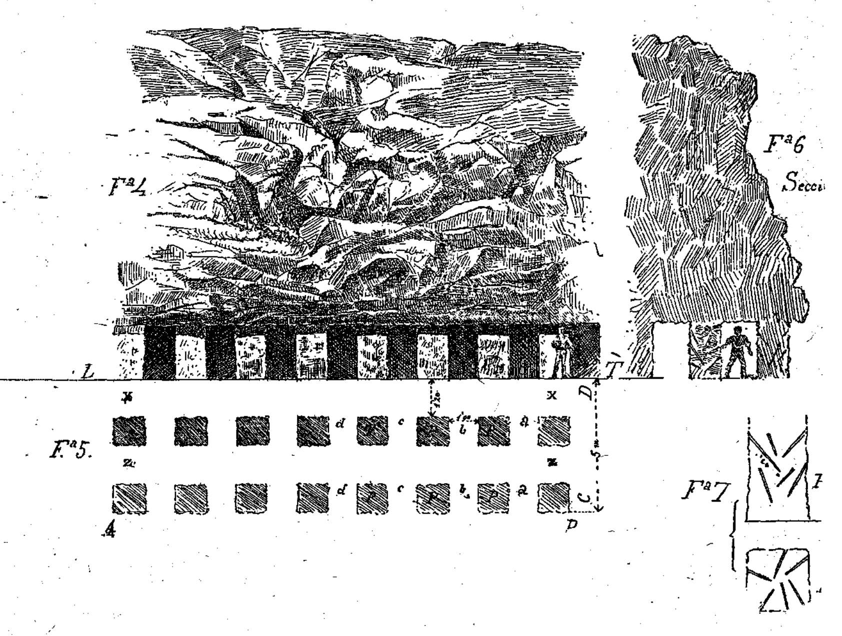
Si se tratase de rocas no estratificadas, los medios empleados serían exactamente los mismos, diferencia hecha tan solo que en lugar de establecer la separación por capas, se llevaría á cabo por masas informes cuyas dimensiones y perímetro, dependerían de las grietas que se tuvieran á mano ya naturales, ya artificiales.

141. **4.° Por desprendimiento.**—(Método seguido en Barcelona) (Fig. 11). Este sistema queda reducido á perforar en la parte inferior y á una altura de 1'80 metros toda la extensión *A. B. C. D.* de la parte de montaña que se desea explotar; pues así faltándole el apoyo natural á toda la masa superior, gravita de tal modo que se vá desprendiendo de la roca madre, gira alrededor de las líneas de unión, bambolea y se derrumba finalmente rompiéndose en el choque en infinidad de fragmentos que son subdivididos á su vez, por medio de cuñas, picos, mazas y aún también sustancias explosivas.

La operación por la cual se lleva á cabo el gran socabón consiste en abrir una serie de galerías *G* en dirección perpendicular al flanco de la montaña ó acantilado de la misma, éstas se profundizan en una misma longitud y se procede enseguida á establecer otra nueva galería *C. D.* perpendicular á las primeras y que por lo tanto las comunica entre sí. Con esta operación han quedado formados una serie de pilares que dividen las galerías *G.* estos pilares son precisamente los apoyos de la parte superior. Se procede luego al derribo de cada uno de estos apoyos y á medida que van desmontándose la masa va cediendo lentamente iniciándose el desplome de la misma. Al objeto de evitar accidentes desgraciados, existe perennemente un vigilante en la parte exterior de la cantera el cual con ojo avizor, está atento y examina con los más mínimos detalles el movimiento que se inicie en la masa, ya á la vista natural, ya haciendo un uso constante de una plomada para cerciorarse de la inmovilidad ó discrepancia del ángulo

primitivo que formaban los escarpes con la línea vertical; y cuando llega el momento oportuno se apresura á dar la señal convenida y acto continuo los trabajadores se retiran.

142. Este método es el ordinario empleado en la montaña de Monjuich, pero en ciertas canteras como en la llamada **La Serafina** y propia del conocido contratista D. Antonio Piera empléase este mismo método pero más en grande escala, de resultados más provechosos en cuanto á la cantidad de



desprendimiento, empleando relativamente un tiempo más corto. También en la mayor parte de los casos á que en este ejemplo se refiere la piedra se obtiene desgajada en grandes masas de los flancos de la montaña. La (Fig. 4.ª del texto) representa la proyección vertical de este flanco, siendo la (Fig. 5.ª) su proyección horizontal. Suponiendo que se trata de la explotación en una longitud *A. B.* que alcance al seno de la cantera á una profundidad *C. D.* que regularmente es de unos 5 metros, se empieza abriendo las galerías *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, etc., en dirección aproximada perpendicular á la línea *A. B.*, pasa-

jes cuya luz es poco más ó menos de un metro por una longitud igual á la mentada de 5 metros. Construídos éstos se abren en sus partes laterales pasajes de 1'20 metros resultando con esto otras dos galerías *x*, *z*, que corren perpendicularmente á las primeras y por lo tanto en el sentido longitudinal. De esta perforación resulta una serie de pilares *P* en primera línea y aislados y otra de pilares *P'* en segunda línea y también aislados; todos los cuales vienen á constituir los apoyos de toda la gran masa de montaña de una altura de 20, 30, y aún más metros que se trata á su tiempo de derrumbar para su consiguiente explotación

La altura de estas galerías suele tener cerca de 1'80 metros y las embocaduras de las mismas están representadas con la letra *O* en la proyección vertical. Dispuesto así este gran socabón solo queda que se acuda á los medios más adecuados para hacer desaparecer los pilares de apoyo *P P'* para que faltando á la gigantesca mole el asiento indispensable se desprenda de la madre, para aprovecharse enseguida de las masas más ó menos voluminosas extrayéndolas para colocarlas en los sitios más despejados de la planicie. Se lleva á cabo esta operación abriendo en cada uno de los pilares (tal como se ve en el detalle de las (Figs. 6.ª y 7.ª) seis ó siete conductos de barreno cuya profundidad de cada uno llega á 1'20 metros colocando en cada uno de ellos unos siete cartuchos de dinamita que equivalen atendido su volumen á unos 700 gramos no sin que después se ataque el resto con el taco de la carga á través del cual sobresale la consiguiente mecha acostumbrada.

A una señal dada varios obreros prenden fuego á las mechas en un mismo momento y al llegar éstas al fulminante verifícase la explosión, los pilares se derrumban; la gran mole tiende al balanceo, se agrieta, rechina, como si intentara resistir la separación de la masa general, bambolea, desprendiéndose finalmente y lanzándose al precipicio donde llega fraccionándose pero en trozos gigantescos; cuales á su vez han de ser divididos hechando mano aun de los barrenos, cuando los instrumentos de corte ó percusión sean impotentes.

143. Utiles é instrumentos.—Generalmente empleados para el corte de las piedras.

Una vez extraídos los bloques de la cantera se procede á su desvaste, echando mano de tres herramientas.

La **Maza** de hierro de bases aceradas (Fig. 12) con la cual se golpea la piedra rompiéndola en las partes más salientes de sus caras hasta obtener regularizados sus lados según la forma y disposición que deban adquirir. Su peso es de 7 kilos.

El **Pico ó Punterola** (Escoda) de hierro con puntas aceradas (Lám. 2.ª, Fig. 13) de peso 3 kilos y sirve para dejar la piedra afectando la forma que debe tener al ponerse en obra pero con la precaución de dejarla con tres ó cuatro centímetros de creces en todos sus lados, para que quede garantida en la masa restante de las averías que ocurrir pudieran en la carga, transporte y descarga al pie de la obra.

La **Escuadra** de hierro (Lám. 2.ª, Fig. 27') cuyo peso y tamaño puede ser distinto según las dimensiones de la piedra de que se trate. Desvastados que sean los bloques se conducen á pie de obra y allí se procede al labrado definitivo valiéndose de los siguientes instrumentos.

La **Martellina ó Martillo** de hierro de peso 3 kilos y medio, de bases aceradas con el cual se rompe toda la piedra excedente en sus caras hasta llegar á tener aproximadamente las dimensiones que le han de ser propias una vez que esté colocada en su lugar (Lám. 2.ª, Fig. 14).

El **Cincel** ordinario (Punxó) (Lám. 2.ª, Fig. 15) de afilado corte, especie de vástago de hierro de 22 centímetros de altura y un grueso de dos centímetros, terminando en la parte superior por una cabeza en forma de hongo. Con este instrumento se labran las aristas que estén perfectamente á escuadra y de las dimensiones y forma que sean necesarias. Este instrumento se maneja de modo que en su trabajo esté más ó menos inclinado, próximo á los 45°, golpeándole fuertemente en la parte superior por medio de una maza, operación que la facilita el hongo que sirve de cabeza al cincel.

Efectuada esta operación á quedado alrededor de la cara cuyo paramento se desea labrar, una pequeña faja labrada de un ancho de 3 á 4 centímetros la cual circuye el resto de dicha cara que aun está llena de alguna protuberancia. Precisamente esta es la que ahora hay que descargar hasta dejarla al ras de dicha faja para que así se pueda llegar en toda su extensión al verdadero paramento que ha de quedar visible. Al efecto puede emplearse el pico en el caso que el grueso que ha de desaparecer exceda de 16 milímetros y también el **Trinchante** de hierro de cortes acerados, de peso 5 kilos (Lám. 2.ª, Fig. 16). Este instrumento tiene dos cortes uno

dentado que sirve para la piedra caliza y el recto para la arenisca blanda.

En el concepto de rebajarse el grueso excedente que sea menor de 16 milímetros, antes indicado, se empleará la martellina de hierro de cortes acerados usando primero el de dientes gruesos después el delgado hasta quedar algunos milímetros más alto que la arista ya labrada. En este estado se hará uso de la **Bujarda** de hierro, con sus bases aceradas (Lám. 2.ª Fig. 17) provistas de una agrupación de pirámides terminadas en punta de diamante, unas de diente grueso que se emplea primero y las otras de diente más delgado y fino que se emplea en segundo lugar para el refino y perfección del trabajo hasta poder colocar sobre la superficie labrada el canto de una regla que coincida con la superficie; cualquiera que sea la posición en que se la coloque.

El **Cincel de dientes** de cortes acerados viene indicado su uso cuando se quiera tener seguridad que el tallante no deteriore las aristas que á su empleo ya están labradas (Lám. 2.ª, Fig. 18), y al efecto el borde que resulta entre éstas y la excedencia que se le ha de descargar de piedra hasta alcanzar el paramento, se quita con el auxilio de dicho cincel. Usase también el **cincel fino** (Lám. 2.ª, Fig. 19) de corte acerado y en forma de trapecio.

Los instrumentos especiales para la piedra blanda son el tallante ya indicado.

La **Raedera** (Rasclet) (Lám. 2.ª, Fig. 20).—Vástago de hierro doblado en sus extremos llevando una plancha con dientes. Sirve para concluir de quitar las asperidades que han quedado después del tallante Su efecto es raer la piedra por medio de un movimiento de vaivén. La (Fig 21) muestra otra forma de raedera.

Escofina (Raspa) (Lám. 2.ª, Fig. 22). Limas grandes de gruesos dientes y triangulares para raspar y afinar el paramento.

Gubia. (Lám. 2.ª, Fig. 23). Especie de formón compuesto de un hierro en forma de superficie cilíndrica cuya sección recta es una media caña ó arco de circunferencia. Va acompañada con un mango en la parte superior; y se emplea en el labrado ó formación de molduras de esta índole.

Sierra. (Lam. 2.ª, Fig. 24). Hay casos especiales en que á la vez que el desvaste puede obtenerse una regularidad extremada en la superficie valiéndonos del corte por medio del

aserrado empleado especialmente cuando la piedra sea blanda ó haya necesidad de dividir el bloque en planchas ó tablas delgadas como sucede en los mármoles.

Según sea el grado de dureza de la piedra así también será la sierra que se emplee. Hay sierras con ó sin dientes. Estas últimas van auxiliadas constantemente con arena y agua cuales elementos facilitan poderosamente la acción de la lámina ú hoja rodeada de arena fina y mojada. Tienen algunas veces dimensiones considerables y entonces para facilitar el movimiento de vaivén, se la suspende por medio de una cuerda sujeta á dos vástagos ó pértigas flexibles que permiten obedecer á dicho movimiento.

Espada del cantero. (Lám 2.ª, Fig. 25) consiste en una lámina de hierro de 0'80 metros de longitud armada de dientes laterales y de la forma de la figura dibujada. Sirve para facilitar la entrada del material de enlace que ha de cubrir las juntas de las piedras. En rigor esta espada quien la usa es el albañil y no el cantero aunque la costumbre la ha hecho conocer con el nombre más arriba indicado.

Baiveles. Llámanse así ángulos construídos con lados de madera ó hierro Se han de deducir de los ángulos diedros que miden la inclinación de dos caras del dibujo del dato; y luego con su auxilio labrar las caras del natural. Hay diversidad de baiveles (Lám. 2.ª, Fig. 26) según la abertura del ángulo y de la clase de superficie que se desea labrar, así hay baiveles cuyos lados son rectas, otros cuyos lados son curvas cóncavas ó convexas y otros que se componen de una recta y de una curva. De todos modos la colocación del baivel en el espacio ha de ser tal que su plano esté siempre en una dirección perpendicular á la arista de intersección de las dos caras cuya labra se desea.

Algunas veces el baivel está construído de tal modo que uno de sus lados puede girar libremente alrededor de un eje perpendicular al elemento de unión ó vértice del ángulo; dándole así la abertura que se desea, mientras que otras veces y es lo más común los lados son fijos permaneciendo constante la abertura del ángulo.

Estos instrumentos auxiliados con compases, niveles de aire y de perpendículo, cordeles, plomadas, reglas divididas en metros (Lám. 2.ª, Figs. 27, 27′ 27″) y que no las dibujamos todas por lo comunes y conocidas constituyen todos los utensilios de frecuente uso en las operaciones del oficial cantero.

144. Labra.—De planos en escuadra formando un prisma. Las operaciones parten de un primer plano que se labra con toda exactitud en una de las caras de este prisma; al efecto trácese con el lápiz y una regla una línea *a b* (Lám. 2.ª, Figura 28) próxima á una de las aristas del bloque que se trata de escuadrar cuya línea *a b* se toma como á directriz de un plano *a d f b* que se labrará abriendo un realce en la piedra con el auxilio del cincel y el martillo. Este plano es fácil de labrar por ser de pequeña extensión, 3 centímetros á lo más, de modo que con solo el cuidado y la pericia del oficial cantero se logra obtener dicha superficie plana con bastante exactitud y con ella habremos abierto en la piedra un resalto en toda la longitud de la misma tal como *a d c e f b*. En este retallo se coloca descansando en él, por su canto una regla tal como *R* tanteando su posición hasta que coincida perfectamente con toda la superficie en donde descanse y así tener seguridad del buen acierto en el labrado del resalto. Colocada así la regla se coloca otra, tal como *R'* en la parte opuesta de la primera cara pero de tal modo que la parte superior *g h* de esta segunda regla esté situada en un mismo plano con la parte inferior *d f* de la primera lo que se consigue fácilmente por medio de visuales y tanteos que dos obreros que uno en una parte y otro en la otra dirijan sucesivamente moviendo la segunda regla hasta que se consiga el enrase ó coincidencia en una misma haz visual de las aristas superior é inferior respectivas de las reglas antedichas. Conseguido esto trácese la línea *g h* en la cara posterior y las *a g*, *b h* en las laterales. Todas estas líneas no serán rectas pues llevaran consigo algún tanto las sinuosidades debidas á las proo minencias de la piedra pero de todos modos estarán situados en un plano dándonos el límite inferior de la parte de piedra que hemos de descargar para obtener el plano que por ellas pasa; quítese pues la piedra excedente lo cual se practicará con el auxilio del martillo, y luego el cincel de puntas ó en bisel y finalmente repasando la superficie con el trinchante examinándola bien hasta que podamos sobre ella colocar una regla en todos sentidos. Labrado que sea este plano se dibuja en el rectángulo *m n p q* (Lám. 2.ª, Fig .28") que ha de servir de base al prisma definitivo.

Echando mano ahora de la escuadra (Fig. 28") se trazarán los cuatro planos perpendiculares al labrado últimamente, pasando cada uno de ellos por las líneas trazadas en *m n*, *m p*, *p q*, *q n* y al efecto se irán descargando las creces de la piedra en estos cuatro lados hasta que se puedan situar posiciones de la escuadra en distintos puntos de cada una de estas líneas de modo que situándola en dirección perpendicular á la respectiva línea; la rama *z*, *z'*, *z"*, etc., nos irá indicando posiciones de la generatriz del plano; así es que continuando el desvaste y prolongando á la vez las *z*, *z'*, *z"*, etc., llegaremos á alcanzar toda la altura de la piedra y esto repetido en las cuatro caras que parten de las líneas de base *m n*, *m p*, *p q*, *q n*, terminándolas todas á la misma altura *n s*, que ha de tener la pieza.

Finalmente invirtiendo la piedra de manera que su cara inferior aun no labrada se disponga en posición en la parte superior, será cuando el oficial cantero podrá labrar este plano que pase por los puntos *s r u t* por lo cual descargará todas las creces de piedra hasta alcanzar á dichos puntos en cuyo caso colocará en la superficie una regla en todos sentidos hasta que en sus posiciones se establezca un contacto perfecto en toda la longitud.

145. A dos métodos se recurre para el labrado de las piedras y son el primero de **escuadría** y el segundo de **baiveles**. El primero lleva la ventaja al segundo por presidir más exactitud en la operación pero en cambio y en general es también mucho más costoso; hay pues más economía en el de baiveles. Consiste el primero en circunscribir á la piedra por complicada que sea en su forma, un prisma recto, labrar esta forma auxiliar pasando luego á labrar la piedra definitiva. La base de este prisma suele ser la figura que afecta la proyección horizontal de la pieza y la altura la separación de los puntos más alto y más bajo de la propia pieza; bien que otras veces la precitada base se toma en la proyección vertical ó de todo otro plano que según el operador crea más adecuado al fin que se propone pero en este caso la altura del prisma también es otra; que regularmente es la medida que resulta de la diferencia de las distancias de los puntos más lejano y próximo al plano referido en donde se refiere la proyección de la piedra.

No basta algunas veces un solo prisma emvolvente pues cuando la piedra se presenta en un sólido complicado, hay que recurrir al labrado de formas secundarias y de transición hasta alcanzar en definitiva lo que nos proponemos;

empezando la operación por la forma más sencilla y pasando sucesivamente de ésta á las que siguen en complicación hasta alcanzar la que nos propongamos.

No puede darse una regla absoluta para pasar de una á otra forma en las piedras preparatorias, pues en cada caso especial varía y esto de tal modo, según que el operador esté más ó menos acertado en la elección y sistema de llevar el trabajo. Los varios ejemplos que se expondrán en lo futuro, indicarán lo bastante para comprender la esencia de este método y el criterio más ó menos aproximado que el estudioso lector pueda adquirir, en la práctica de las operaciones de este género.

De todos modos y para dar ahora cuando menos una idea general; supongamos en la (Lám 2.ª, Fig. 29) que se trata de labrar una pieza de forma piramidal, cuya base de la pirámide sea el triángulo expresado en la (Fig. 30), esta base es la llamada plantilla porque nos dá la verdadera forma y magnitud de la superficie de dicha base. Supongamos también que la altura de la pirámide sea conocida, bastará entonces escoger un bloque de piedra cuyas dimensiones sean tales que pueda contener en su interior la pirámide que vamos á labrar para lo cual bastará que tenga algo más (en virtud de las creces que antes hemos indicado) de la longitud, latitud de la base y de la altura que se conozca. Hecho esto se empezará labrando un plano por el sistema ya indicado, en él colocaremos la plantilla de la figura 30, (Lám. 2.ª), colocándola en la figura 29, en *q b′ c′*, hecho esto procédase al labrado de los tres planos que están á escuadra con la base *q b′ c′* pasando cada uno de ellos por los lados *q′ b′*, *b′ c′*, *c′ q′*, y sobre cuyos tres planos se colocarán los rectángulos iguales *a b b′ q*, *b c c′ b*, *a c c′ q*, cuyos rectángulos tienen por altura la que se ha dado á la pirámide; de este modo habremos obtenido los puntos *a*, *b*, *c*, por los cuales haremos pasar un plano que será paralelo al *q b′ c′* y así concluído tendremos un prisma recto de base triangular y de altura igual á la de la pirámide, cuya está contenida en el interior del mismo, que será preciso obtenerla desvastando la parte excedente de la primera forma labrada A este objeto márquese con precisión el punto *s* en el interior del triángulo *q b′ c′*, cuyo punto *s* será el vértice de la pirámide de que se trata. Todo quedará reducido ahora á hacer pasar un plano por el punto *s* y por la recta *a b*, otro por el mismo punto *s* y la recta *b c*, y

otro por el mismo punto *s* y la recta *a c*, desvastando pues para estas operaciones toda la piedra excedente hasta poder alcanzar los planos antedichos que no serán otra cosa más que las caras de nuestra pirámide cuyas aristas resultarán naturalmente en *s a*, *s b*, *s c* y el labrado quedará terminado. Vemos pues que para obtener la forma piramidal hemos tenido necesidad de pasar por la forma de un prisma recto así como para obtener este último podría haberse hecho depender de la forma de un paralelipípedo.

146. Sistema de baiveles.—Como que en este sistema se pasa directamente á la forma que se desea, se empieza en su virtud escogiendo en la cantera un bloque de las dimensiones aproximadas de la pieza que se desea. Si pues en la figura 31, lámina 2, se supone que *s a b c* es este bloque escogido; se empezará labrando un plano *a b c* y en él colocaremos la plantilla *a′ b′ c′* de la figura 30. Mediremos enseguida los ángulos que forma el plano de la base con cada uno de los planos laterales y las medidas de estos ángulos nos darán los baiveles cuyo empleo será inmediato pues bastará colocarlos en la disposición que marca la figura 31, de modo que su plano sea perpendicular á una de las aristas tal como *a′ b′* y que su vértice interior *p* se confunda con un punto de dicha línea y entonces la dirección del lado *p q* nos indicará la de la cara, para que se pueda ir desvastando en aquel sentido indicado. Distintas posiciones del baivel á lo largo de *a′ b′* nos darán más exactitud para la fijación de dicha cara sobre la cual labrada que sea, colocaremos la plantilla *a′ b′ s′* deducida del dato. Iguales operaciones repetidas á lo largo de *b′ c′*, *c′ a′*, nos darán las otras caras de la pirámide. Como á comprobación es siempre conveniente echar mano de otro baivel *k m n* que mida el ángulo de dos caras laterales colocándolo en la posición que ya hemos referido al objeto de examinar si concuerdan las inclinaciones de sus lados con las que afectan las correspondientes de la pirámide.

La combinación de los sistemas antedichos de escuadría y baiveles puede reportar muchas veces ventajas en el resultado de la labra, por conciliarse en ciertas ocasiones la exactitud del trabajo, brevedad en el mismo, economía en el material y mano de obra como método compuesto que veremos desarrollado alguna que otra vez, cuando la práctica y circunstancias de los casos que vamos á desarrollar lo permitan.

147. Transporte á distancias pequeñas.—Labrada que sea la piedra se la transporta inmediatamente al pie del sitio en donde haya de colocarse (Fig. 38, Lám. 3.ª y á este fin se disponen dos tablones de madera, ó una serie de ellos á continuación unos de otros hasta salvar la distancia objeto del traslado de la pieza. Esta, se coloca sobre dos rodillos que á su vez descansan sobre los tablones antedichos, é imprimiendo á la piedra un movimiento de traslación por medio del empuje se consigue que ésta vaya avanzando mientras los rodillos ruedan, hasta alcanzar dicha pieza otro tercer rodillo preparado abandonando entonces el primero y moviéndose sobre el segundo y tercero; abandona luego el segundo y alcanza á otro colocado en cuarto lugar y así sucesivamente hasta llegar al punto destinado.

148. Clavija (gripia).—Situada la piedra al pie del mismo punto en donde se desea definitivamente colocar; solo falta elevarla y disponerla en su alojamiento. Para llevar á debido efecto esta ascensión es cuando se usa el aparato conocido con el nombre de clavija, cual se fija de momento y de una manera invariable á la misma piedra de cuya subida se trata.

Compónese este aparejo de varias partes. Dos piezas de hierro *B A'* (aparejo desmontado) (Fig. 32) terminadas inferiormente por un bisel y en la parte superior por un refuerzo en forma de orejón ó anillo. Otra pieza *C* de hierro también, de la misma longitud de las anteriores y terminado en la parte superior por otro anillo igual á los precedentes pero sin refuerzo.

Estas tres piezas unidas en el sentido de su grueso y de manera que coincidan los tres anillos superiores de modo á formar en totalidad un cilindro se colocan en la figura 33, á cuyo efecto se tendrá dispuesto en la piedra un hueco en forma de cola de milano en el cual pueda alojarse el extremo inferior de la pieza formada por las tres antedichas. Para que esta operación pueda llevarse á feliz término en virtud de la figura especial del hueco abierto (hueco de la clavija, furat de gripia) se empieza colocando las *B* y *B'* y luego se interpone en íntimo contacto á golpe de mazo la pieza del centro *C*. Así las cosas se echa mano del aro de la (figura 34), aro que termina en dos anillos *D D'*, y se coloca (figura 33) de modo que estos anillos *D D'* vengan á continuación de los otros colocados, á cuyo fin todas estas piezas están ya cons-

truídas adrede para que ajusten con la exactitud debida al poner en práctica el aparato. Solo resta hacer pasar por el interior del anillo formado por estas cuatro piezas referidas, el pasador *E E'* (Fig. 35) terminado en un extremo por una cabeza y por la otra acompañado de un agujero ó hueco algo convergente para que en él se pueda alojar remachando la cuña *l l'*. El aparato está en esta disposición á propósito para atar el anillo *A* á una fuerte cuerda y llevar á cabo finalmente, la subida tal como describe la (figura 37, Lám. 3.ª). La polea, cábrias y andamiajes son los útiles complementarios á los cuales se afianza la piedra para la elevación de la misma y que no describimos por ser bastante conocidas.

Otro ejemplo de clavija es el que indica la figura 36 y se compone de un anillo *A*. fijo á la cuerda de la polea ó cabria; de un vástago *B* unido ó formando parte de un hierro *D* circular y en forma de ángulo, en su centro hueco, en donde tiene establecido el anillo horizontal; dos piezas *C C'* que en conjunto afectan la forma de cola de milano y armadas por la parte superior por un resalto, van colocadas pasando dentro del anillo y retenidas por él, pudiendo resbalar libremente á lo largo del vástago *D*. Para poner en práctica este instrumento se abre una caja *m n p q* en forma de cola de milano en la parte superior de la piedra; introduciendo en ella enseguida las piezas *C C'* de manera que estén en íntimo contacto con las paredes de la caja y al objeto de cumplir este requisito de un modo invariable se interpone entre estas dos piezas una cuña *G* la cual se remacha fuertemente hasta quedar bien prieta. Todo el aparejo durante la elevación está pendiente del aro *A* por medio de un fuerte gancho con el cual termina el vástago *B*.

También los romanos se servían de esta clase de clavijas para la elevación de sus piedras, la figura 39 representa un ejemplo de esta clase y se compone de dos ramas que se introducen prietas en el hueco en forma de cola de milano practicado en la parte superior de las piedras. Colocado en esta situación se la separa algún tanto con el auxilio de las manecillas colocadas en los extremos superiores de las dos primeras piezas citadas, las cuales vienen afectando la forma como á tijeras; así en esta disposición se introducirá en el hueco central una llave ó cuña con el auxilio de fuertes golpes de maza lo cual obligará á los extremos inferiores de las dos ramas de la tijera vayan separándose hasta ponerse

en íntimo contacto cada una de por sí con las paredes inclinadas de la caja. Prendiendo luego todo el aparato en una cuerda que pasará por los huecos de las manecillas superiores y que se pondrá en combinación con una polea se podrá desde luego efectuar la elevación.

La figura 40, lám. 3.ª nos indica un ejemplar de clavija usado según Malvezzi, por los griegos. Está compuesto de dos cuñas á las cuales se interpone una llave. Se empieza á armar el instrumento introduciendo en la caja de la piedra los extremos interiores de las cuñas de modo que estén en perfecto contacto con las paredes de la caja; el espacio que entre ellas queda, intermedio, se alojará la llave haciendo luego estas tres piezas completamente solidarias con el auxilio de un pasador que se introduce en el espesor de la misma por medio de un conducto cilíndrico de antemano practicado en ellas.

Las figuras 41 y 42 bastarán por sí mismas para dar idea de la subida de piezas con el solo auxilio de cuerdas que aprisionen con sus lazos á las piedras, sin necesidad de recurrir al auxilio de las clavijas. Sin embargo la figura 42, merece llamar la atención puesto que nos indica el sistema que tenían los griegos para subir las rajas ó tambores cilíndricos que servir debían de hiladas en los fustes de las columnas. Dos apéndices salientes en puntos opuestos en cada una de las piezas y que se dejaban exprofeso formando parte de las piedras servían para fijar mejor el enlace con las cuerdas y una vez colocadas dichas piezas se procedía al desvaste haciendo desaparecer estos cuerpos salientes auxiliares.

149. Las construcciones de que se ocupa la Estereotomía son los **Muros**, **Arcos** y **Bóvedas**; aun que se puede colocar sin dificultad el estudio de los arcos dentro del que corresponde á las bóvedas.

Son **Muros** una superposición vertical de piedras llamándose éstas **Sillares**.

Son **Bóvedas** una superposición no vertical de piedras las cuales se sostienen entre sí por un recíproco, mutuo contrarresto; aquí en éste caso las piedras se conocen con el nombre de **Dovelas**.

En las construcciones, las piedras vienen dispuestas formando zonas separadas cuyas superficies están dirigidas normalmente á las presiones que soportan y transmiten á fin de evitar la tendencia al resbalamiento lateral. Estas zonas

se llaman **Hiladas**; las superficies que separan las hiladas son los **Lechos**, **Juntas de Lecho**, ó **Juntas Continuas**; y las superficies que separan dos piedras de una misma hilada se las conoce por **Juntas Discontinuas ó Alternadas**. Por medio de las juntas de los lechos es que se transmite la presión de una á otra junta. En las juntas discontinuas alternadas la presión puede considerarse como casi nula.

Por esta razón se han de trabajar con más escrupulosidad las primeras con preferencia á las segundas.

150. Al llevar á cabo una construcción estereotómica ya sea muro ó bóveda conviene estudiar con antelación la forma y dimensiones que sean más ventajosas teniendo en cuenta sus funciones, situación, economía, estabilidad, resistencia de los materiales de que se disponga y en una palabra á todo requisito que tender tenga á la mejor resolución del problema. El estudio de estos datos cabe dentro de otras ramas del arte arquitectónico ya que en la Estereotomía se supone dada la forma general y las dimensiones del muro ó bóvedas quedado reducido en nuestro caso el camino de investigación á las tres siguientes operaciones:

1.° Dibujar el **Aparejo** (del latín apparatus). Esto es la disposición más ó menos acertada que vienen á tomar las piedras dentro de un sistema estereotómico, en virtud de haber precedido á la división y fraccionamiento de la construcción de las hiladas y juntas discontinuas, apareciendo dichas piedras en formas tales que queden sostenidas mutuamente por la yuxtaposición formando un conjunto tal como si fuese formando una sola masa. Proceder á la división de la totalidad de la construcción empleando las juntas continuas y discontinuas es lo que se llama **Despiezo**.

2.° Deducir gráficamente de las proyecciones del aparejo las verdaderas magnitudes de los principales elementos que determinan las piedras, cuales son las caras y los ángulos driedos que aquéllas forman entre sí y que son necesarios para la labra subsiguiente de la piedra.

3.° Proceder á la labra de la piedra, estudiando los medios más apropósito breves y fáciles y con la mayor economía posible para obtenerla valiéndonos al efecto de los detalles y elementos que se han determinado en las operaciones anteriores. Con respecto á la primera operación precisa echar mano del plano de **Montea**.

151. Llámase plano de Montea una superficie plana que puede ser horizontal ó vertical sirviendo en este último caso un lienzo de pared bien liso y llano en donde se dibujan los datos al tamaño natural junto con el despiezo y allí es en donde se hacen las operaciones necesarias para encontrar la verdadera magnitud de las formas que afectan las caras planas de las piedras. Verdaderas magnitudes que toman el nombre de **Plantillas**.

152. Plantilla es pues un patrón de una de las superficies planas de una dovela ó sillar sacado en una tabla, cartón, hierro, ó formado por una serie de listones de madera de chilla unidas invariablemente en sus ángulos, cuyo patrón aplicándolo sobre la cara del sillar que se trata de labrar nos dá el límite de dicha cara en la misma piedra. Así pues hay plantilla de lecho, de paramento, de intradós, etc., etc.

Las superficies que terminan las caras de la piedra pueden ser también curvas y entre éstas cuéntanse las desarrollables y las que no tienen esta propiedad. Con respecto á las primeras será necesario deducir sus desarrollos y con respecto á las segundas precisará una vez conocida la clase de generación encontrar del modo como pueden dibujarse al natural una serie de generatrices y directrices y con su auxilio engendrarla, operaciones é investigaciones todas que han de desprenderse todas del plano de Montea.

Hay superficies curvas que admitiendo una generatriz curvilínea precisa obtener ésta por medio de una **cercha**. Llámase así un patrón de contorno curvilíneo sacado de una tabla de chilla que se aplica de canto en la cara de la piedra para labrar en ella una superficie convexa y cóncava. La cercha para labrar un hueco ha de ser convexa y cóncava para labrar una superficie convexa. La cercha se distingue de la plantilla, en que ésta se aplica de plano á la superficie donde se ha de labrar la figura cuyo contorno, en patrón representa, mientras que la cercha ya hemos dicho que se aplica de canto.

153. Se llaman **contra-plantillas** el dibujo que constituye la forma completamente opuesta de la superficie ó moldura que es necesario labrar. Generalmente tiene su aplicación cuando en la piedra hay un decorado de molduras. Están señaladas ó dibujadas en planchas de madera ó de metal,

generalmente en zinc, se aplican colocándolas en sentido perpendicular á la piedra y precisamente el hueco del dibujo ha de coincidir con el relieve ó salidas que lleve consigo la piedra. Bajo este punto de vista bien podríamos deducir que la cercha viene á ser una contra-plantilla.

154. El plano de Montea que ya hemos dicho podía emplearse, consiste en un suelo bien horizontal ó un gran lienzo de muro bien vertical preparadas de una manera conveniente las superficies de estos planos para que las operaciones puedan hacerse con toda la exactitud posible. En ellas muchas son las veces que ocurre trazar curvas en el plano de Montea sucediendo el inconveniente de no poder emplear el procedimiento conocido de su generación por oponerse á ello fortuitas circustancias que aparecen en la Montea. Entonces será conveniente repasar las distintas propiedades de la curva para que vengan en nuestro auxilio y las apliquemos con ventaja al sustituirlas por el procedimiento ordinario.

Para comprender mejor estas consideraciones supongamos que se desea trazar al tamaño natural (Fig. 43) un arco de circunferencia que sepamos que pase por los puntos $A\ C\ E$, pero que no nos podemos valer del centro de este arco por no encontrarse este punto en los límites del plano en que se dibuja. En este caso recordando la propiedad de que la medida de un arco inscrito en una circunferencia es igual á la mitad del arco que sus lados abraza; quedará reducida la cuestión á unir los puntos A, E, C, y construir un ángulo con dos listones de madera cuyas ramas $M\,C$, $N\,C$ coincidan con la dirección de las cuerdas $C\,A$, $C\,E$ y haciendo invariable este ángulo por medio de un travesaño intermedio todo quedará reducido á hacer mover este sistema de modo que todos los puntos de los lados del ángulo vayan pasando sucesivamente por los puntos A, E y entonces es evidente que el punto vértice C irá recorriendo los puntos B, D que formarán parte del arco en cuestión.

Otro procedimiento valiéndonos de la misma propiedad. (Fig. 44). Los puntos son A, D, B, únanse entre sí, haciendo centro en A y en B y con un mismo radio trácense dos arcos de circunferencia $m\,n$, $p\,q$ cuales nos cortarán á las cuerdas $A\,D$, $B\,D$ en los puntos a, a'. Tómese sobre el primer arco desde el punto a para arriba un cierto número de partes

iguales *a c, c d,* este mismo número de partes tómense en el 2.° arco desde el punto *a'* para abajo *a' c', c' d'*. Trácense los radios *A d, A c, B c', B d'*, los cruces dos á dos de estos radios nos darán los puntos *E, F* que pertenecerán á la curva. Del mismo modo hubiéramos obtenido el punto *C* combinando la *B b'* con la *A b* y esto es evidente por que al construir sucesivamente los triángulos *A C B, A E B, A F B* lo hemos hecho de modo que la suma de los dos ángulos en *A* y en *B* sea siempre constante para todos los triángulos ya que toda disminución que haya sufrido uno de ellos ha servido de régimen para aumentar el otro de la misma cantidad resultando con esto que los ángulos *D, C, E, F* siempre han tenido la misma medida y como sus lados han pasado constantemente por *A* y por *B* se infiere que forzosamente los puntos *B, D, C, E, F, A* pertenecen todos á una misma circunferencia.

Insiguiendo la misma propiedad podemos valernos del siguiente procedimiento (Fig. 45). Unidos que sean *D* con *A* y *D* con *B*, tómense dos distancias *A a* y *B a'*, por los puntos *a a'* trácense las perpendiculares *p q* y *m n* sobre las cuales y á partir de los puntos *a* y *a'* se tomarán superior é inferiormente, distancias iguales *a b, b c, a d, d c* y *a' b', b' c', a' d', d' e'*. Uniendo las primeras distancias con *A* y las segundas con *B* las combinaremos entre sí de modo que se correspondan las homólogas designadas por las mismas letras así la *A d* cortará á la *B d'* en el punto *E* y el punto *E* pertenecerá al arco de circunferencia; lo cual es evidente por las construcciones efectuadas, pues si comparamos los triángulos *A B C, A B E,* éstos serán tales que la suma de los ángulos adyacentes al lado *A B* del primer triángulo es igual á la suma de los ángulos adyacentes al lado *A B* del segundo triángulo por lo que se infiere que los ángulos en *E* y *C* han de ser iguales y como que sus cuatro lados insisten en los puntos extremos de *A B* infiérese que han de formar parte de un arco de circunferencia.

155. Para todas las construcciones y prácticas de Estereotomía se admiten como axiomáticas las prescripciones siguientes: 1.° **Evitar los ángulos agudos.** El cumplimiento de esta regla salta á la vista; si una piedra sillar ó dovela lleva consigo un ángulo agudo muy pronunciado, se comprende habrá de ofrecer una resistencia mucho menor que el ángulo

obtuso de la pieza adyacente, resultando que reaccionando mutuamente las dos piezas, la fuerza desarrollada podrá ser bastante para romper dicho ángulo agudo.

2.° **Evitar las juntas quebradas ó de doble junta.** En efecto si ésta existe resultará que de dos dovelas contiguas una llevará consigo un ángulo saliente, y la otra un ángulo entrante, y como resulta muy difícil cortar estos dos ángulos con la exactitud necesaria para que una vez labrados pueda cumplirse matemáticamente la superposición exacta, se desprende de aquí que si esto no sucede la piedra superior no estando en yuxta posición con toda la junta inferior, tendría efecto una repartición irregular de presiones, lo cual daría por resultado una rotura directa en la arista del diedro más débil.

3.° **Colocar las piedras de tal modo que sus lechos y sobrelechos coincidan precisamente con los lechos y sobrelechos de cantera.** Hé aquí el motivo de esta prescripción: Las piedras se forman en las canteras por capas planas y próximamente paralelas, se las extrae bajo forma de prismas rectos cuyas bases, son planos dirigidos según las capas antedichas llamadas lechos de cantera. La experiencia ha demostrado que la piedra ofrece la mayor resistencia cuando las fuerzas que obran sobre ella están dirigidas perpendicularmente al lecho de cantera, cual fenómeno es fácil comprender con solo una simple y vulgar comparación. Comparando la aglomeración de capas en la cantera con la reunión de hojas de un libro, éste resistirá mucho más un peso cuando este libro esté colocado de plano que no de canto ú oblicuamente. Necesario es pues en la construcción de todo edificio colocar la piedra de tal modo que el lecho de cantera venga á ser normal á la resultante de las fuerzas que sobre ella actúen, esto es que estos lechos coincidan con las juntas que se llaman continuas y hé aquí porque á éstas se les denomina también juntas de lecho.

Para que este importante requisito tenga fiel cumplimiento en la ejecución y los oficiales canteros sepan á que atenerse; hay la precaución en la cantera de señalar estos lechos con signos convencionales tales como son por ejemplo los que vienen dibujados en la (Fig. 46).

4.° **Las juntas debe hacerse de modo que sean superficies de la más fácil generación y si se puede, que sean planos:** pues así aparte la economía de la labra tiene el can-

tero que vencer menos dificultades existiendo siempre mas probabilidades de una ejecución más esmerada, lo cual significa mucho para la solidez de la obra en virtud de obtener un contacto más íntimo en las juntas.

5.° **Para que las piedras tengan en su colocación la mayor resistencia posible conviene que las caras adyacentes que han de estar en contacto lo hagan en toda su extensión siendo este contacto íntimo en todos sus elementos.** Pues la experiencia demuestra que dos piedras cargando la una sobre la otra su resistencia es proporcional al mayor número de elementos de contacto.

6.° **De enlazar el aparejo lo mejor que se pueda.** Es un requisito indispensable para que exista completa trabazón entre todas las piezas sin cual propiedad el conjunto tendería á abrirse. Hé aquí por que cada junta ha de caer sobre macizo y donde exista arista viva no puede caer junta.

7.° **Que las líneas de junta continuas y discontinuas de la obra de cantería sean las líneas de curvatura de su superficie vista** esto es del paramento si es un muro y del intradós si es una bóveda.

La propiedad de que gozan esta clase de líneas comprueban el rigorismo de esta prescripción y es como una consecuencia del cumplimiento de los requisitos anteriores. En efecto las líneas de curvatura llevan consigo la ventaja de cortarse en ángulos rectos y á más como si esto no fuera bastante de cortarse también en ángulos rectos las superficies normales á la de que se trata engendradas por las normales de la superficie cuando resbalan por todos los puntos de las mencionadas líneas. Además estas superficies normales ó de junta son siempre desarrollables lo cual les dá más ventaja, para la labra por poder valerse de los desarrollos que en este caso sustituye á las plantillas de los casos ordinarios.

Sobre esta importante prescripción no podemos menos para comprender bien su trascendencia é importancia de continuar á seguida lo que dice Monge sobre el particular. "Las bóvedas construídas de cantería están compuestas de varias piezas á las cuales se les dá el nombre de dovelas. Cada dovela tiene varias caras que exigen el mayor cuidado en su ejecución: 1.° La cara de paramento ó sea la parte visible de la piedra debe ser ejecutada con la mayor precisión cuya cara es el intradós de la piedra cuando esta forma parte de una bóveda; 2.° Que las caras por las cuales las dovelas con-

secutivas están en contacto, son las superficies que se llaman juntas: Las juntas exigen también la mayor exactitud en su labrado; atención hecha á que las presiones se trasmiten de una á otra dovela en dirección perpendicular á la superficie de junta, resultando que se hace forzoso que las piedras estén en contacto en el mayor número posible de elementos á fin de que para cada uno de ellos la presión sea la menor y sea igual para todos dichos elementos. Precisa pues que en cada dovela para que podamos satisfacer con acierto al labrado de las juntas, éstas se obtendrán con más exactitud cuanto más fáciles sean las superficies de que forman parte dichas juntas pues menos dificultades tendrá el obrero para labrarlas. Según esto claro está que más fácil será hacer coincidir las juntas cuando sean planas y no curvas y en el caso de tener que ser forzosamente curvas conveniente sería que fueran de la generación más fácil Esta es pues la causa que se hacen ordinariamente las juntas planas; más como las superficies de todas las bóvedas no permiten siempre esta disposición es necesario acudir á las superficies curvas y de ellas las más fáciles de ejecución cuales son aquellas que son susceptibles de estar engendradas por una línea recta, aún entre éstas se pueden escoger por el mismo motivo las conocidas por desarrollables. Hé aquí porque cuando de ser curva la superficie de junta se escogen las desarrollables; mediante empero haya posibilidad de poderlas practicar.

En efecto una de las principales condiciones á las cuales ha de satisfacer la forma de las juntas de las dovelas es la de ser normal á la superficie de intradós de la bóveda, y así ha de ser pues que si los dos ángulos que una misma junta hace con la superficie de la bóveda fuesen desiguales, aquél de ellos que fuese obtuso, sería capaz de mayor resistencia que el otro adyacente, y en la acción que dos dovelas consecutivas ejercen entre sí, el ángulo agudo está expuesto á romperse, con lo cual, cuando menos deformaría la bóveda, amen de alterar su solidez y precipitar la duración del edificio. Luego se infiere que cuando la superficie de una junta á de ser curva conviene engendrarla por una recta que sea normal á la superficie de la bóveda; y sí además de esta condición se quiere que el lugar geométrico de sus posiciones formen una superficie desarrollable precisara que todas estas normales á la superficie de la bóveda reunan la circunstancia de estar situadas cada dos consecutivas en un mismo plano. Pero co-

mo hemos visto que esta condición no se cumplirá sino cuando todas las normales pasen por una misma línea de curvatura de la superficie de la bóveda, resulta que si la superficie de las juntas de las dovelas que constituyen una bóveda requiera sean de la clase de desarrollables, será necesario que estas superficies encuentren ó corten al intradós según sus líneas de curvatura.

La división de una bóveda en dovelas viene acusada visiblemente en la superficie de intradós por medio de líneas las que están sometidas á leyes generales y á cumplir propiedades particulares caracterizadas por la índole ó naturaleza de la superficie de intradós. Entre las leyes generales las unas se refieren á la estabilidad y las otras á la duración del edificio; y es precisamente que responden estas condiciones el imponer la regla que prescribe que las juntas de una misma dovela se corten entre sí en ángulo recto, así como todas ellas son normales á la superficie de intradós. Así pues las líneas que acusan el despiezo en la superficie de la bóveda tales como son las llamadas continuas han de venir cortando en ángulo recto á las conocidas por discontinuas y como quiera que no existen líneas en una superficie como no sean las de curvatura que cumplan esta doble condición, esto es; de cortarse en ángulo recto como igualmente las superficies normales á la de que se trata, que se apoyan sobre las mismas líneas y ser aquellas superficies normales de la clase de desarrollables; podremos finalmente concluir que la división de una bóveda en dovelas, debe efectuarse por medio de las líneas de curvatura de la superficie de intradós de la bóveda, y las juntas, deben estar constituidas por porciones de superficies desarrollables, formadas por las normales á dicha superficie de intradós, puesto que en este caso, ya se sabe que las normales cumplirán con la condición de estar situadas dos á dos en un mismo plano, y así las superficies de las cuatro juntas, así como la de la bóveda serán rectangulares.

8.° **Que la relación entre las tres dimensiones de la piedra no exceda de un cierto límite el cual depende del grado de resistencia del material empleado.**

En general este límite suministrado por la práctica puede reducirse á la siguiente tabla de Rondelet.

	Altura	Ancho	Longitud
Piedras blandas	1	1'5	2
Media dureza	1	1'5 á 2	2 á 3
Duras	1	2 á 3	4 á 5



CAPÍTULO TERCERO

MUROS

Definiciones, generalidades y división.

156. De todas las construcciones de obras de cantería de que se ocupa la Estereotomía, son los muros las más fáciles, sencillas y elementales y por lo tanto las que en primer lugar deben estudiarse.

Los muros son unos macizos de cantería, cuyo objeto principal es el sostener techos, cercar espacios ó evitar empujes según sean las circunstancias que medien y motivos que obliguen á construirlos.

Son de varias clases y cada una de ellas depende de las superficies anterior y posterior que los limitan. Así los hay limitados por superficies planas ó por superficies curvas, pudiendo en general quedar especificadas en el siguiente cuadro que para mayor claridad se incluye:

Muros.
- Superficies planas.
  - rectas.
  - en esbiage.
  - en talud.
  - en esbiage y talud.
  - en bajada rampa ó en ala.
- Superficies curvas.
  - Cilíndricas.
    - rectas.
    - oblícuas.
  - Cónicas.
    - rectas.
    - oblícuas.
  - Alabeadas.
- Superficies mixtas.—Constituyen los acuerdos.
- Superficies interrumpidas.—Constituyen las esquinas.

MUROS RECTOS

157. Cuando el macizo de cantería, está comprendido entre dos paramentos planos, verticales y paralelos, entonces viene á constituir el muro recto. En este caso toda sección vertical dada en el muro por un plano perpendicular á los paramentos, será un rectángulo siempre de igual dimensión cualquiera que sea el punto en donde se produzca el corte.

Hay bastante variedad de muros rectos, dependiendo la índole y nombre de cada uno de ellos, del aparejo adoptado y éste por lo tanto á su vez dependerá de la disposición, forma y labrado de las piezas necesarias para constituir el conjunto. Los aparejos principales son los siguientes:

Distintos aparejos en los muros.	Isodomon.	**Griegos.**
	Pseudo isodomon.	
	Diatonus.	
	Opus incertum.	**Romanos.**
	Opus reticulatum.	
	Opus spicatum.	
	Emplecton.	
	Redientes.	

158. Aparejo **Isodomon** Ισόδομον. Que vale tanto como igualdad en la construcción ó sea en nuestro caso, en el aparejo, y así es en efecto porque en él todas las piedras ó sillares son iguales en un todo, esto es en longitud, latitud y altura (Lám. 3.ª, Fig. 47) $A\ B$, $C\ D$ son las trazas horizontales de los paramentos verticales, anterior y posterior del muro recto, cuyo grueso es $A\ D$ y cuya altura es $A'\ A''$, formando en su conjunto un prisma recto cuyas proyecciones vertical y horizontal son respectivamente los rectángulos $A\ B\ C\ D$, $A'\ B'\ B''\ A''$. Queda ahora reducida la cuestión á fraccionar este macizo en partes parciales que unidas y convenientemente enlazadas, constituyan el conjunto obrando como si fuera una sola masa.

Empezaremos recordando uno de los principios de Estereotomía que preceptúa que la superficie del lecho de cantera conviene que esté situada en dirección perpendicular al esfuerzo que ha de resistir la piedra. Como en un muro sus

diferentes partes están sometidas á los esfuerzos de la gravedad, resulta que el lecho y sobrelecho de cantera han de estar aquí en nuestro caso en disposición horizontal, por lo que si dividimos la altura total $A'\ A''$ en un número de partes iguales, que cada una tenga la medida que queramos dar á la altura de cada uno de los sillares, obtendremos los puntos de división a', b', c',..... por los que trazando una serie de planos horizontales $a'\ a$, $b'\ b$, $c'\ c$,..... obtendremos así un primer fraccionamiento en que la totalidad quedará dividida en cuatro zonas horizontales llamadas hiladas, siendo las juntas continuas los planos horizontales trazados, por medio de los cuales están en completo contacto dichas hiladas. Como que cada una de las mismas sería demasiado extensa para dejarlas constituidas en una sola longitud, resultando de dimensiones desproporcionadas y fuera del cuadro de resistencia aconsejado por la práctica, anotado en el párrafo núm. 155, resultado de la experiencia de Mr. Rondelet, de aquí es que recurramos á un segundo fraccionamiento por medio de planos verticales perpendiculares á los paramentos, y cuyas trazas en el alzado vienen expresadas por las rectas $m\ n$, $o\ p$, $r\ q$, $t\ s$, etc. y, decimos perpendiculares á los paramentos, pues de no ser así, nos producirían en las piedras ángulos diedros, agudos ú obtusos en contra de los principios establecidos en el párrafo (155). Por la misma razón estos planos han de ser precisamente verticales y no inclinados al horizonte, pues si así fuesen, también nos producirían esta clase de ángulos. En esta segunda división las líneas y superficies de junta, deben ser interrumpidas tal como muestra la figura, pues de no cumplir este requisito, la construcción no tendría el debido enlace en detrimento de la resistencia, pues cada zona vertical obraría por sí sola y á la mas leve diferencia de asiento produciría un movimiento con tendencia á la separación del primitivo estado de las juntas verticales. Estas líneas y planos verticales alternados ó interrumpidos de una á otra hilada, constituyen las juntas llamadas discontinuas y en general en toda obra de cantería han de ser respectivamente normales á las continuas.

Es pues forzoso que en todo muro la junta discontinua caiga sobre macizo, y aquí en nuestro caso que los sillares son todos iguales, caerá precisamente á la mitad del sillar.

De la inspección de la figura resulta que existen juntas vistas y ocultas siendo una de las primeras la $t'\ t''$ y una de

las segundas la $p' p''$. Un sillar cualquiera lo tendremos proyectado en el rectángulo $a' q r b'$ en el plano de proyección vertical, mientras que su proyección horizontal estará expresada en el rectángulo $A t' t'' D$, formará pues un prisma recto cuyas dimensiones nos son todas conocidas, quedando reducida su labra á lo ya expresado en el número 145.

159. Aparejo pseudoisodomon. Φενδισοδομον, esto es falsa igualdad en la estructura. (Lám. 3.ª, Fig. 48). Las hiladas horizontales comprendidas entre las juntas continuas no son aquí todas de una misma altura y se forman en dos agrupaciones distintas dentro de cada una de las cuales, los sillares que entran á formar parte de una misma agrupación, tienen una altura constante, pero mayor ó menor que la altura que tienen los sillares comprendidos en la otra agrupación. Así pues todos los sillares que corresponden á las hiladas impares, son todos iguales y de altura mayor que los sillares que entran á formar parte de las hiladas de lugar par, de manera que dichas hiladas van alternando sucesivamente. Falsa igualdad, indica el nombre griego y efectivamente así sucede si examinamos bien el aparejo que si en parte tiene alguna igualdad en algunos detalles, no rige sin embargo aquella de la manera como lo hace por completo con el aparejo anterior, aquí en nuestro caso, la longitud y la latitud de los prismas que constituyen los sillares son iguales, iguales son sus bases, todas las piedras reunen la condición de caer las juntas alternadas á la mitad precisa de la línea de frente ó longitud del sillar superior é inferior correspondiente, viene únicamente á ofrecer una nota discordante que impide realizar por completo esta igualdad, el diferenciarse solamente en altura las hiladas pares de las impares. Se empleaba este aparejo por distintos motivos y en varias ocasiones, ya por dificultad de no tener á mano piedras de las dimensiones exigidas para las mayores que forman las hiladas impares, ya por economía y aprovechamiento del material pétreo, recurriendo á piedras de dimensiones menores, ya también como puro objeto de adorno motivándolo con la misma naturaleza del despiezo.

160. Aparejo Diatonus. Διατονε (Atadura, trabazón, enlace). Los sillares ó piezas que entran á formar parte de un muro, toman distintos nombres según la disposición con que están

colocadas; así, si se situa de modo que su longitud ó su mayor dimensión forme parte del paramento del muro, constituye lo que se llama una **soga**; si por el contrario esta mayor dimensión está dispuesta en el interior del muro, entonces se llama **Tizón**. Aprovechando de una manera conveniente la combinación de estas disposiciones, resulta ser dable obtener muros de gran resistencia por el enlace mutuo á que se prestan los resaltos interiores formados por los sillares adjuntos, cuales se enlazan y aprisionan respectivamente al impedir todo movimiento con tendencia á separar las juntas discontinuas. Partiendo de estos datos se inició el aparejo **diatonus**; el que se ha expresado permite distintas combinaciones (Lám. 3.ª, Fig. 49). Si las piedras tienen las mismas dimensiones, siendo su longitud doble de la altura puede formarse la primera hilada con sillares tales como a, c... etc., colocados á **tizón** ocupando todo el grueso del muro presentando sus bases cara á los dos paramentos comprendiendo cada dos de ellos dos sillares colocados respectivamente á **soga**, de los cuales uno aparece en el paramento anterior y el otro en el posterior, tales como son los señalados con las letras d, b,... etc. La disposición de esta primera hilada se repite en todas las impares. Los **tizones** de la segunda hilada caen precisamente en medio de las sogas que le son superior é inferiores rompiendo naturalmente la junta que dichas **sogas** forman en el espesor del muro, mientras que las sogas d, de esta segunda hilada colocadas simétricamente y centrales á los **tizones** superior é inferior, rompen perfectamente las juntas que en los lugares impares forman las sogas con el **tizón**. Se reproduce la disposición de las piedras en esta segunda hilada en todas las demás que corresponden al lugar par, indicando la proyección horizontal de este muro todas las piedras tal como vienen colocadas en sus partes vistas y ocultas (Lám. 3.ª, Fig. 49). Pero todas estas piezas que acabamos de indicar, permiten disponerse de otro modo facilitando así otra solución. Así por ejemplo, en la primera hilada, todos los sillares pueden estar colocados á **tizón** formando todos parte de los dos paramentos del muro y así repetida esta disposición en todas las hiladas impares, mientras que en todas las hiladas pares los sillares pueden estar dispuestos á soga, necesitando dos de ellos para cumplir con todo el grueso del muro, resultando con ello que colocándolos de modo que sean simétricos con los tizones superiores é inferiores, interesando su contacto con respecto á los planos de

paramento á un tizón y á la mitad de los otros dos tizones adjuntos á éste lo cual es lo mismo que decir que cada tizón ha de caer en su mitad en las juntas discontinuas que forman las sogas que le son inferiores ó superiores. Ejemplo de esta disposición se encuentra en el teatro de Megalópdis y también en la puerta de Falea. Se concibe pues fácilmente que colocando estos sillares formando nuevas combinaciones podrían obtenerse soluciones distintas de este género, pudiendo darse el caso de que la longitud del sillar ó tizón fuese menor que el grueso del muro aunque la disposición de las sogas y tizones podrían conservar disposiciones análogas que en los dos casos anteriormente expuestos, en que la longitud del tizón ó lo que es lo mismo dos sogas adjuntas ocupan el grueso del muro. Véanse las figuras 51 y 52, (Lám. 4.ª) que demuestran otras dos soluciones en las cuales el grueso del muro es mayor que la longitud del tizón. En estas figuras el muro está representado solamente por su planta y de ella el buen criterio del lector deducirá fácilmente el alzado.

Todas estas estructuras murales de origen griego, fueron también adoptadas por los latinos en tanto ó mayor grado que las suyas propias, muy especialmente en los edificios públicos como dá de ello testimonio el mismo Vitrubio.

Aprovechábanse también esta clase de despiezo en sus distintas combinaciones como á motivos decorativos, pues no hay duda que según del modo ingenioso como se dispongan sus sillares permite formar con ellos y dibujar en los paramentos del muro, distintas figuras geométricas las que pueden destacar más el efecto de emplearse piedras de distintas entonaciones en sus colores, conforme es de ver en algún edificio antiguo de esta época.

En estos muros la verdadera pieza diatónica es en los tizones *A* cuando sus bases forman parte de los paramentos atándolos ó enlazándolos con ventaja para la buena construcción y solidez de los mismos (Fig. 56).

161. Aparejo. Opus incertum, que es como si dijéramos obra ó trabajo irregular. Consistía (Lám. 4.ª, Fig. 53); en emplear piedras de forma irregular tal como salían de la cantera, adaptándolas entre sí de modo que se estableciera el más íntimo contacto posible en todas sus caras, no existiendo en este sistema orden en las juntas las que dejan de aparecer las indicadas en los casos anteriores llamadas continuas y

discontinuas para quedar sustituídas por juntas quebradas en zig-zag y en todos sentidos.

En tres clases podemos dividir los muros de este sistema de construcción.

1.ª Clase. Las piedras están labradas en todas sus caras y el contacto se efectúa entre ellas de una manera perfecta y de tal modo, que las líneas de junta que aparecen en el paramento son tan sumamente finas que cuesta algún trabajo el distinguirlas.

Estos ejemplares son raros y nosotros tuvimos la satisfacción de examinar uno de ellos en el año 1879 en Frascati.

2.ª Clase. Las piedras están no labradas, pero sí simplemente desvastadas todo lo más necesario para que puedan descansar y apoyarse mutuamente en las superficies de contacto, introduciendo piedras más pequeñas en algunos de los huecos que hayan quedado forzosamente en las juntas, siendo golpeadas ó remachadas estas piedras de menor dimensión de modo que haciéndolas obrar como á simples cuñas, vayan aumentando sucesivamente el contacto por las presiones que mutuamente se desarrollan una vez ultimado todo el sistema. De esta estructura puédense citar como á ejemplo, los muros del templo llamado de la Sibila y los arruinados en gran parte en la quinta de Micenas ambos situados en Tívoli.

3.ª Clase. Aquí en este caso los mampuestos son más reducidos que en el caso anterior siendo las piedras más manejables completamente rudas y groseras en sus contornos, sin ni siquiera desvaste y colocadas directamente tal como salen fraccionadas de la cantera. Con mayor motivo aquí los intersticios franqueados por las falsas juntas están suplidos por rocalla, cascajo y ripio y empleando á la vez el mortero como á material de enlace para así suplir con más ventaja la imperfección de las falsas juntas y obtener en el definitivo asiento más beneficiosa cohesión que unifique todas las partes que han de constituir la masa total. Este ejemplo nos dá una estructura semejante á nuestra mampostería. Se empleaba indistintamente ya al descubierto, ya también formando grandes masas para cimientos. Por lo que inferimos que esta clase así como la anterior está fuera del dominio de la Estereotomía por excluirse en ellos toda clase de corte. Es de advertir que cuando estas construcciones iban al descubierto eran reforzadas en los ángulos por una serie de sillares, toscamente labrados los cuales dejando alternativamente una serie de re-

saltos, estos permitían enlazar con distintos brazos ó ramales la obra de mampostería que era circuida y apretada fuertemente por aquellos.

162. Aparejo reticulatum.—La combinación de las piedras en el paramento dibujan en su disposición una red ó cuadrícula diagonal apareciendo como tablero del juego de damas. Dichas piedras tenían en general la forma de una pirámide truncada de base cuadrangular de 0'098 metros de lado y éste inclinado al horizonte de un ángulo de 45° en cuya dirección estaban todas las juntas que eran continuas con ausencia completa de las discontinuas. No podía por lo tanto existir completa trabazón en el sistema relacionado estrictamente en su despiezo. La longitud de estas piezas era de unos 0'15 metros, medida que entraba en el grueso de la pared. Así pues todas las piedras afectaban la forma de cuña, cuales quedaban aprisionadas por el material de enlace y construcción interior que era mampostería ó ladrillo y de la cual venía á ser puro revestimiento el reticulatum en cuestión.

Según nos dice Vitrubio, este aparejo era el más comunmente empleado en su tiempo que por esta razón era apellidado de sistema moderno por aquel entonces para distinguirlo del antiguo, que así se conocía el opus incertum.

Algunos autores tratan de ver en el sistema reticulatum la prosecución modificada del sistema poligonal irregular. El principio de la construcción irregular al llegar á su mas alta perfección sistemática, solo entonces se descuidó algún tanto el aparejo en zonas horizontales y el carácter poligonal se manifestó de un modo más independiente en todas las direcciones de las juntas de los muros. Al llegar á este punto, fué cuando las piedras se colocaron unas sobre otras en ángulos de 45° como dan testimonio de ello los muros de Fondi, Signia, Bovianum y varios puntos de Alba Fucencis.

El opus reticulatum de los tiempos romanos posteriores, viene á ser una imitación de aquel sistema el cual fué nuevamente desarrollado inspirándose siempre los constructores en aquellos ejemplos y que andando el tiempo llegó á ser sistemático en las prácticas romanas.

El comentador de Vitrubio D. José Ortíz y Sanz, dice hablando del reticulatum. "El reticulado ha sido mal entendido y peor explicado por todos los intérpretes de Vitrubio, excepto Filandro y Galiani que lo observaron en las ruinas

del Antiguo. Creyeron que esta estructura constaba de piedras escuadradas, puestas de ángulo en la pared, y tomando todo su espesor de una superficie á otra, este es un engaño manifiesto en los edificios antiguos; pues el reticulado se componía de piedras pequeñas, según dice Vitrubio, en figura de pirámides cuadrangulares, cuya base no excede de unos cuatro dedos en cuadro. La calidad de la piedra es toda de las flojas, arriba nombrada, y más de la roja que de las demás. La base de las piedras que forma la red (de que tomó el nombre) ó cara de la pared, está amoldada exactamente, y avivados sus ángulos y filo para mayor unión y hermosura de la obra. Las piedras no son más largas que hasta medio pie, y nada más entran en la pared..... etc., etc.".

Sin embargo y apesar de lo manifestado por el erudito comentador, si bien es verdad que en general la construcción del reticulatum era tal como hemos definido más arriba, esto no significa que en algunos casos especiales se proscribiera en absoluto el echar mano de piedras escuadradas puestas de ángulo en la pared, como de ello existe alguno que otro ejemplo aun que raro; y uno de ellos cuyo aparejo presentamos en la figura Lám. 4.ª, Fig. 54, tuvimos ocasión de examinar en el año 1879 en nuestra excursión á Italia, extramuros de la antiguaTsísculo, un lienzo de pared bastante en ruinas y que entonces estaba casi adosada á un terraplén. A no mucha distancia de esta última construcción, y al mismo pie del monte Albano, hay otro muro con aparejo reticulado, pero aquí muchas de sus piezas pasan de una á otra parte del muro, descansando sobre hiladas inclinadas á 45 grados, recibiendo sus empujes las caras de prismas pentagonales que rodean el reticulado como constituyendo un marco de cuadro, cuyos prismas quedan enlazados enseguida con sillares de muros ordinarios entre los cuales está comprendido el aparejo de que tratamos, y cuyo dibujo en la cara de paramento es también análogo al mentado de la figura 54.

Al parecer y en virtud del examen practicado en los restos y ruinas esparcidas en la localidad, todos estos lienzos de muro deberían formar parte de un recinto fortificado.

Así era también según opinión de algunos autores, el reticulatum de los griegos entre los cuales era conocida bajo el nombre de δυκτιοθετον **dictiocetón**, si bien de mucho no tan empleado como entre los romanos.

163. Aparejo Opus Spicatum.—(Estructura cuya forma es parecida á la que ofrece la espiga de la mies). Era de un uso secundario y ordinariamente empleado ya como fajas ya también como á verdugadas de ladrillos. Consiste en una serie de piezas formando ángulo tal como indica la (Fig. B) y empleado principalmente cuando las construcciones romanas, tocaban ya á la época de la decadencia. Usábase también para la formación de pavimentos, y en estos se colocaban las piezas verticales, encontrándose algún ejemplar en en donde las piezas son de piedra.

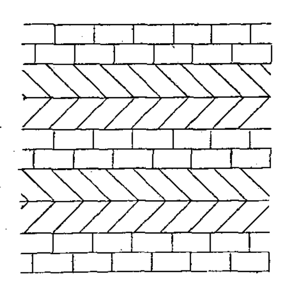


Fig. B.—Opus Spicatum.

164. Aparejo Opus emplectum (que equivale lo mismo que relleno). Recurrían á este aparejo cuando era considerable el espesor del muro y no tenían á mano ó querían economizar piedras de gran tamaño, que alcanzasen toda la dimensión de dicho grueso. Al efecto se limitaban á construír los paramentos con sillares regulares (Fig. 55, Lám. 4.ª) rellenando el hueco que quedaba en el espesor del muro, por medio de cemento, cascajo ó mampostería fuertemente apisonada.

El emplectum era conocido también por los griegos εμπλεκτον con la diferencia de que su aparejo era llevado conforme acostumbraban en todos sus trabajos, á un grado de perfección mayor que el últimamente mentado. Tal es así (Fig. 56, Lám. 4.ª), que después de haber construido los paramentos según su regla y su uso, suplían el interespacio comprendido entre ellos no ya de piedra irregular sino de sillares bien escuadrados y en un recíproco contacto colocando á trechos y cuando las circunstancias lo permitían, piezas diatónicas *A*, *A*, *A*,..... que ataban fuertemente los dos paramentos.

165. Sistemas de enlace.—Para aumentar la resistencia del muro, habían adoptado los antiguos, distintos medios para hacer más sólida la construcción. 1.° Introduciendo piedras tales como x x' (Fig. 57, Lám. 4.ª) formando resaltos, los cuales facilitaban con sus entradas y salidas, que las otras piezas que estaban en oposición á ellas tales como *a*, *b*, *c*, *d*, todas de distinta profundidad, fuesen cogidas por aquellas por

medio de ramales que tendían á unificar el sistema. 2.° Aparejo por medio de **Redientes** (Fig. 58). Aparecen estos redientes en los paramentos del muro, dando así lugar á líneas interrumpidas acusadas por las juntas horizontales, las que forman también resaltos. Luego aquí vemos que las líneas de junta continuas, dejan en rigor de serlo en el momento de quedar terminadas cada una de ellas de una manera brusca por el resalto vertical. Facilita este despiezo á tener más aseguradas todas las hiladas para el caso que tender tuviera sobre ellas un movimiento lateral, ya que el rediente se opone naturalmente á este esfuerzo. Es de bastante resistencia, pero no puede ocultarse lo defectuoso que se presenta bajo el punto de vista del asiento general de las hiladas, toda vez que ocurrir pudiera la menor negligencia en el labrado de las juntas horizontales de una misma pieza, á fin de que el contacto con su superior ó inferior no fuese lo más riguroso posible; entonces el resultado que podría producir este defecto en una diferencia de asiento cualquiera, sería la rotura inmediata de los sillares. Aumenta de una manera considerable el coste de la labra y dificultad de la misma y finalmente el mal efecto que producen bajo el punto de vista estético estas hiladas quebrantadas, fueron causa que este aparejo no prosperara y cayera pronto en desuso.

166. 3.° **Aparejo revinctum.** (Esto es, lo que ata, sujeta, enlaza). (Fig. 59, Lám. 4.ª) Consiste en emplear piezas adicionales que no son otra cosa que grapas en forma de doble cola de milano, *a*, *b*, *c*, empotradas en el lecho de las piedras y en cajas ó huecos convenientemente preparados. Dichas cavidades ofrecen dimensiones un poco mayores que la pieza que se va á empotrar, supliendo luego el pequeño intervalo vacío que queda entre las paredes de la cavidad y la pieza, con una sustancia que se echa líquida y que después se solidifica sin que sea mucha la contracción. La sustancia líquida puede ser el plomo, yeso, azufre, cementos ó morteros hidráulicos, siendo estos dos últimos los que han dado mejores resultados. Las grapas pueden ser de metal, siendo conveniente pintarlas con baño de color al óleo, el cual las preserva de la herrumbre ú orín, impediendo con esto la dilatación muchas veces capaz para conseguir la rotura de las piedras. También se ha echado mano de grapas de una buena madera dura cortada en la misma forma de cola de milano.

Por medio de clavijas, dados de hierro y abrazaderas del mismo metal, puede conseguirse al mismo objeto (Lám. 4.ª, Fig. 60).

167. 4.° **Asiento sobre cuñas.**—Asiento á tortada de mortero. En la antigua Grecia y Roma, y en la época clásica de sus construcciones, cuando en éstas se empleaba la cantería, las piedras se colocaban sin mortero ó material de enlace. Las superficies de junta se trabajaban con tal pulcritud y tal era la perfección que alcanzaban en su trabajo, que al yuxtaponerse las superficies, con el contacto la adherencia era tanta, que algunos eruditos y observadores han venido á inferir para que así fuera, que las piedras habían sido frotadas y desgastadas unas sobre otras, obteniendo una superposición perfecta; y en esto se encuentran también algunas construcciones hoy en ruinas en el Egipto, en las cuales se observan bloques ó sillares de dimensiones tales, que habían de exigir millares de brazos para ser movidas. Se concibe pues que en aquel entonces, el trabajo ni el gasto no eran motivos poderosos para que se dejara de obtener una verdadera perfección, siendo ésta una de las principales causas del admirable estado de conservación que ostentan las construcciones, desafiando el tiempo transcurrido y que han podido salir incólumes por no haber llegado á la mutilación y depresión por la mano del hombre.

En aquella época pues, comprendían perfectamente que una construcción de cantería para que reuniera las debidas condiciones por las cuales se le pudiera calificar de buena, era preciso que las piezas se mantuvieran por el solo corte y por la excelencia del aparejo ó despiezo adoptado, sin necesidad de acudir á medios extraños ni materal alguno de enlace para contribuir á la unión de las distintas partes y consiguiente unificación del conjunto concebido por el arquitecto.

Más no sucede así en nuestros días, en que el espíritu de economía es el que priva y de considerar con algún descuido, las partes ó trabajo que no se ostente á la vista del espectador, ha hecho que nuestros constructores tengan un criterio bien distinto que los antiguos; descuidando de una manera lamentable el labrado de las juntas, habiendo logrado tal deficiencia á tomar carta de naturaleza en todas partes y á ser admitida por arraigada la inveterada y perniciosa costumbre.

Hoy pues no se labran las superficies de junta, solo sí, desvastanse, se escuadran, y hasta si se quiere se labran groseramente, dejando empero una serie de proominencias, cuales exigen medios para compensarlas, que aun que más expeditos que una labra hecha á conciencia, no siempre están exentos de una serie de dificultades, cuales pasaremos brevemente en revista y decimos brevemente porque de querer dar más extensión á este asunto, nos apartaríamos algún tanto de la índole de nuestro trabajo, ya por que también hemos de prescindir de dichos medios en todas las aplicaciones y teorías que vertamos en esta obra.

El asiento sobre cuñas, es el que generalmente se emplea. A este objeto se hace descansar la piedra sobre cuatro cuñas de madera (Lám. 4.ª, Fig. 61) situadas próximamente en los ángulos ó extremos, tanteando con el nivel, regla y plomada hasta obtener una perfecta horizontalidad, en este estado, se introduce el mortero en la junta con el auxilio de la espada, (Párrafo 143) y una vez practicada esta operación, vuelve á ensayarse la pretendida horizontalidad, modificando ó supliendo nuevamente de material de enlace, hasta haber obtenido el fin propuesto.

Otras veces se prefiere extender el mortero con la llana del albañil, antes de sentar la piedra y las cuñas, y otras finalmente se vierte el mortero líquido después de tapar herméticamente la parte por donde fuera fácil rebasar.

Se comprende de momento la conveniencia de recurrir al mortero para suplir la junta en el caso que se empleen cuñas, pues de no emplear aquel, la piedra solo se apoyaría en cuatro puntos, ofreciendo una resistencia muy distinta á la que tiene cuando hace el apoyo en todos sus elementos de su superficie de junta, siendo de temer como á consecuencia la rotura de la pieza en su parte media, ó bien que repartida la presión que soporta en tan pequeño contacto, venga el aplastamiento y se quebranten los ángulos próximos á los apoyos.

La madera ofrece la propiedad de aumentar de volumen con la humedad y de disminuirlo con la sequedad, de modo que al encontrarse en contacto con la humedad del mortero, se hincha, aumenta el espesor de la junta permitiendo introducir mortero supletorio, mientras que cuando éste se seca y contrae, la madera se seca y contrae al mismo tiempo.

También suelen emplearse cuñas de plomo.

El asiento puede hacerse sin cuñas y á simple tortada de mortero, pues exige este sistema una labor más acabada en la superficie de la junta, quitando las asperidades del caso anterior y labrando más continuamente con el cincel toda la superficie inferior de una piedra y la superior de otra. Con los mismos requisitos que el caso anterior se ensayará la horizontalidad del sillar, una vez que ésta sea obtenida, se levantará la piedra que descansaba sobre la hilada establecida anteriormente, (y que había de ofrecer también la horizontalidad) y sobre esta última se extiende una capa de material de enlace, esto es, mortero de cal ó de cemento, de unos dos centímetros de espesor. Vuélvese á colocar la piedra en el asiento así preparado, ensayando nuevamente la horizontalidad y la corrección y ajuste de sus paramentos, y esto conseguido, se la golpeará con un fuerte y potente mazo de madera cuya percusión hará refluir el mortero excedente hacia la parte exterior, obteniendo así una junta tan delicada como se desee. Las juntas verticales se guarnecen enseguida de mortero.

Este sistema es preferible al de las cuñas, en primer lugar, por ser el asiento más homogéneo y luego por el mejor aspecto de la obra al obtener líneas de junta finas y regulares.

167. **Juntas falsas.**—Algunos constructores para obtener en el paramento líneas de juntas reducidas en su espesor á un límite extremo y hagan buena impresión al observador; sin que por otra parte tengan que extremar el labrado de la junta en toda su superficie y ahorrarse por lo tanto lo que representa tal labor al final de la obra; se limitan tan solo á labrar á conciencia una faja ó banda *c d, a b* (Fig. 62, Lámina 4.ª) de 0'10 metros de ancho, dispuesta alrededor de la pieza bordeando su contorno, practicando luego en el resto central una concavidad que se rellena de material de enlace.

No puede ocultarse lo defectuoso por no decir temerario de tal sistema, especie de fraude hecho en detrimento de la solidez, de los intereses del propietario y de la confianza y buena fe de la dirección, cual no puede estar perenne al pie de la obra durante todo el tiempo de su duración.

De dicha disposición resulta la necesidad de emplear mayor volumen de mortero en las juntas; y de aquí que tenga lugar una contracción más fuerte, asientos mayores y aumento de peligro.

Con este motivo dice Leroy en su obra de Estereotomía: **«Es precisamente á una causa semejante que se atribuye el accidente sobrevenido á la Iglesia de Santa Genoveva (hoy Panteón) y que obligó á sustituir los grupos de columnas que sostenían la cúpula por cuatro pilares cuyas sendas masas hacen desaparecer el efecto pintoresco que presentaba el plano primitivo de Souphlot. Y no era ciertamente que los gruesos de las columnas y pilares interiores fueran deficientes para sobrellevar el peso de la construcción superior. Se atribuyó pues al vicioso sistema de aparejo y colocación por el cual las juntas no descansaban en toda su extensión. Se ha creido también que el aparejador había dispuesto los tambores de las columnas de tal modo, que el lecho superior fuera cóncavo afectando superficie cónica, con el fin de permitir á las sucesivas hiladas de adaptarse con más exactitud sobre sus bordes y de hacer insensibles las líneas de junta á la vista del observador; y en este concepto había de suceder que la carga total no encontrándose soportada más que por una débil zona de la junta de cada tambor mientras que la parte media más importante en extensión ocupada por el mortero cuya resistencia á la comprensión es mucho menor que la de la piedra, dió por resultado la rotura de algunas hiladas y el estado ruinoso de las columnas.»**

168. **Almohadillados.**—Se dá este nombre á las construcciones en cuyos paramentos figuran los sillares que pasan la línea de la pared por tener sus juntas acanaladas. Se emplean como adorno, para dar un carácter de más resistencia al edificio y también para disimular algún tanto el mal trazado en que quizá hayan quedado las líneas de la junta.

Como adorno: por que pueden hacerse distintas combinaciones con la clase de acanaladuras que se escojan y dar variedad de formas y labrados á la parte de relieve del sillar, todo en consonancia y armonía con el carácter que tenga el edificio.

Como para prestar un carácter de más resistencia: en atención á que las partes salientes ó plafones de los sillares simulan más grueso y robustez mayor por lo cual se le suele disponer en zócalos y basamentos de los edificios.

Finalmente; para atenuar el mal trazado en que quizá haya quedado la junta, porque distraen algún tanto la vista del observador, al paso que las sombras arrojadas que producen las acanaladuras tanto horizontales como verticales sobre el

fondo del canal llegan á ocultar ó confundirse con la árida línea que forma la división de las piedras.

Suelen hacerse siguiendo la dirección de las juntas; llamándose **corrido** cuando forma canales solamente á lo largo de las juntas horizontales.

Las dimensiones que se dan á los rebajos de los almohadillados, son de tres á seis centímetros de altura por una mitad ó dos tercios de esta dimensión en profundidad.

Fray Lorenzo de San Nicolás nos dice hablando de los almohadillados en su libro titulado **Arte y uso de Arquitectura**:

Se adornan las fachadas con un almohadillado que son unos campos relevados, cosa moderada haciendo sus fondos más lucida la obra.

Algunos autores creen ver el origen del almohadillado en la práctica que tenían los antiguos, especialmente los romanos, en labrar asiduamente las superficies de junta dejando sin labrar los paramentos, ó labrándolos después de colocadas las piezas en obra dejando la mayor parte de veces un labrado rústico, burdo, lleno de proominencias, mayormente si la piedra era dura así conseguían economizar y abreviar el trabajo al paso que daban un carácter severo, robusto, y fuerte á su edificio, propiedades perfectamente avenidas con su modo de pensar y de ser que se reflejaba en todos sus actos. Singulares ejemplos nos dan el recinto del Foro de Nerva, la Puerta Prenestina, el Acueducto de Claudio, el arco de Druso y el puente Nuevo.

Esta clase de labrados tomaron carta de naturaleza especialmente en Italia; del siglo VII al XII vino á constituir en Florencia el carácter típico de sus palacios, prestándoles este aspecto importante y severo que lo deben precisamente á los salientes y exagerados relieves, á la par que á los groseros y embrionarios de los labrados de sus caras. Allí el curioso contempla las obras de Arnoldo de Lapo, Brunellesco, Ammanati y Michelozzo.

Los palacios Vecchio, de Pitti, que ofrece el ejemplar en almohadillado el más enorme y grosero en su labrado que se haya conocido, aquellos acanalados tan profundos y á la par que aquellas moles protuberantes en sillares parecidos á pequeños peñascos pegados á una cantera y próximos á precipitarse en el abismo, imponen el ánimo del espectador y comunican al edificio un tinte no ya de fuerza sino de fiereza. El palacio Strozzi ejemplo de almohadillado curvilíneo, si bien mucho más trabajado que el anterior pero no menos imponente y grave.

Vignola y Paladio consideraban el almohadillado como un efecto local del capricho y resultado de un estilo especial originado de la costumbre.

Serlio lo introdujo en Francia.

Filiberto de Lorme, aficionado á esta clase especial de decoración sin duda por su larga permanencia en Italia, la derramó con profusión en el castillo de las Tullerías.

Vénse también aplicados con pueril escrupulosidad y hasta con profusión excesiva y enojosa en la parte de Galería del Louvre construída en tiempo de Enrique III.

De Brosso deseando dar cumplida satisfacción á los deseos y caprichos de María de Médicis, la que deseaba que en la capital de Francia existiera un ejemplar de los trazados arquitectónicos, genuinos y especiales de los palacios de su ciudad natal; trató de imitar el trabajo florentino en el palacio de Luxemburgo, intentando la reproducción del de Pitti, colocándose en su obra en grado muy inferior al grandioso, imponente y original trabajo de Ammanati.

Los almohadillados fueron empleados y difundidos en las construcciones de carácter militar especialmente después del siglo XVI, desde cuya época se dieron los constructores en admitir el uso de los salientes cortados con regularidad aislados y separados unos de otros por resaltos más ó menos profundos según el capricho y fantasía de los autores.

De lo expuesto se infiere que pueden ser muy distintas las clases de almohadillados que se construyen y entre las cuales enumeraremos las siguientes:

1.° **Rectangular** (Lám. 4.ª, Fig. 63). Cuando la sección de la acanaladura se termina en ángulos rectos y los relieves de los sillares forman en cada uno de ellos rectángulos aislados en sus proyecciones, simulando planchas de piedra independientes pegadas á la pared y separadas respectivamente por las mentadas acanaladuras.

2.° **Inglete** (Lám. 4.ª, Fig. 64). Llámase así cuando las aristas de los relieves están conducidas inclinadas á 45° hacia el paramento, formando así los planos inclinados inmediatos que forman el canal un ángulo de 90°. La acanaladura está formada entonces de dos pequeñas facetas iguales é igualmente inclinadas análoga á los lados de un triángulo

isosceles cuya base fuera la separación de dos salientes ó relieves por esto se llama también este almohadillado con el nombre de triangular.

3.° **De Gola** (Lám 5.ª, Fig. 65). Cuando en el caso anterior se sustituyen las aristas vivas de los tableros salientes por pequeñas superficies cilíndricas de enlace que afectan la forma de gola. Su empleo es adecuado además de utilizarlo para ornamentación el dar más consistencia á los bordes de las piedras cuales son fáciles de degradarse en la intemperie y la labor del tiempo especialmente donde existen aristas vivas que por esto es bueno abatir según sea la calidad de la piedra.

4.° **Achaflanado.** Si en el caso anterior se evita el ángulo formado por los dos biseles por medio de un chaflán (Lámina 5.ª, Fig. 66) se produce el almohadillado achaflanado.

5.° **Cilindrico** ó de caveto. Si las acanaladuras (Lám: 5.ª, Fig. 67) tienen la forma de superficie cilíndrica cóncava en forma de caveto.

6.° **Achaflanado rectangular.** (Lám. 5.ª, Fig. 68). Combinación de los dos sistemas rectangular y achaflanado.

7.° **En cuadros inversos ó rehundidos** (Fig. 69). El campo del frente del sillar está rehundido y como encuadrado alrededor de una orla que forma listelo separándose entre sí las piezas salientes por acanaladuras rectangulares ó cuadradas.

8.° **Punta de diamante** (Lám. 5.ª, Fig. 70). El relieve que forma el paramento del sillar lo forman cuatro planos inclinados cortándose los cuatro en un punto que es vértice de una pirámide cuadrangular que se asemeja á las facetas de un diamante.

9.° **Punteado** (Lám 5.ª, Fig. 71). Aquel á cuyo fondo están dibujadas una serie de líneas entrecruzadas formando una red y en cuyos puntos de cruce se fijan unos pequeños topes ó botoncitos que deslindan de una manera más franca los vértices de la cuadrícula.

10. **Vermiculatum** (*) (Lám. 5.ª, Fig. 72). Cuando en e fondo del plafón hay una frase especial de labrado irregular imitando cual si fuera roedura de gusanos. Algunos autores opinan que este particular y extraño labrado se practicaba anteriormente para imitar las eflorescencias y el resultado que produce sobre la piedra cuando se inicia una descomposición á consecuencia de las humedades y la acción laboriosa del tiempo.

(*) Vermis que significa gusano.

11. **Diatónico** (Lám. 5.ª, Fig. 73). Es el caso que con su auxilio se quería llamar más marcadamente la atención en los tizones que son las verdaderas piezas diatónicas. Las sogas entonces van acompañadas todo lo más con un listelo.

12. **Rústico** (Lám. 5.ª, Fig. 74) cuando el tablero de relieve queda simplemente tocado bruscamente con la bujarda.

Estos ejemplos bastan para comprender las infinitas combinaciones que pueden resultar según del modo como se dispongan las acanaladuras y el labrado de las planchas tableros y rehundidos.



CAPITULO CUARTO

MUROS EN ESBIAGE, EN TALUD EN ESBIAGE Y TALUD, EN BAJADA Ó EN ALA

MURO EN ESBIAGE

169. Llámase así cuando el macizo de cantería está comprendido entre dos planos verticales y convergentes; en la (Fig. 75) se representa la planta del muro por el trapecio *A B D C*, en el cual los planos de paramento verticales tienen sus respectivas trazas horizontales expresadas en *A B*, *C D;* de modo que la representación de este muro quedará terminada, si en el plano de proyección vertical se nos fija la altura *A' A''* á que alcanza dicho muro, pues que con el plano horizontal *A'' B''*, trazado á esta altura y los planos verticales de perfil *A' A'' A C* y *B D*, *B'' B'*, que terminan el muro en sus partes laterales, nos limitarán por completo éste, proyentándose en el plano vertical según el rectángulo *A' B' B'' A''*. Dividiendo la altura *A' A''* en un número de partes iguales tales como *A' a*, *a b*, *b c*, etc., por cada uno de estos puntos podremos ya dirigir desde luego, una serie de planos horizontales los cuales nos cortarán al paramento según las líneas *a a'*, *b b'*, *c c'*, etc. y así tendremos fraccionado el muro en una serie de zonas horizontales ó hiladas que estarán comprendidas entre las juntas continuas así producidas. Conviene ahora á su vez fraccionar cada una de estas fajas obtenidas, por medio de los planos de junta discontinua, obteniendo

así líneas verticales alternadas en el paramento. En estas juntas se va á presentar una pequeña modificación, comparación hecha con lo que se hizo al hablar de los muros rectos, aquí en el muro en esbiage los planos de paramento no son paralelos y por lo tanto todo plano de junta discontinua, que corte en ángulo recto á uno de ellos no puede hacer lo mismo con respecto al otro á quien cortará en un ángulo más ó menos agudo según los casos, cual defecto hemos de evitar (núm. 155, 1.ª).

A este efecto, desviaremos algún tanto la junta á poca distancia del paramento, dándole la nueva dirección en sentido perpendicular al mismo, cual operación se llama quebrantar la junta. Paralela á *A B* y á la distancia de unos cinco centímetros se trazará la *x z* como auxiliar, en la cual terminarán la serie de planos verticales conducidos perpendicularmente al paramento posterior ó plano vertical de proyección y que sirven para la división parcial de las fajas sucesivas ó hiladas horizontales; los planos pues tales como *q t*, *r s* al terminar en *t*, *s*, vendrán en pos de ellos los *t m*, *s n*, normales al paramento anterior *A B* cortándole según las líneas de junta discontinua *m' m''*, *n' n''* cuales se alternarán en las demás hiladas lo propio que todas las demás juntas de su misma naturaleza, de modo siempre que cada junta discontinua caiga sobre el macizo de la continua, tal como expresa la figura 75.

Dado caso que el grueso del muro fuese de alguna consideración y no quisiésemos emplear ya por economía ú obedeciendo á otro objeto cualquiera, piedras que alcanzaran todo el espesor del muro, podríamos dividir algunas de ellas, en dos partes dentro del mismo grueso, obedeciendo á juntas alternadas como indican las líneas *e f*, *g h*.

170. Labra.—Escójase un prisma recto cuyas bases sean iguales (Lam. 6.ª, Fig. 75') al rectángulo 1, 2, 3, *q*, circunscrito á la proyección horizontal y por altura la que tenga la hilada á que corresponde el sillar, cuya altura es aquí *a b*. Colóquese en la parte superior é inferior de este prisma auxiliar la plantilla que tenemos proyectada en verdadera magnitud en el plano horizontal, en *m n s r q t m* del mismo modo y situación como se encuentra inscrita en el rectángulo y así vendrá colocada en la figura 75' en m^{IV} n^{IV} s^{IV} r^{IV} q'' t'' m^{IV} en la parte superior y en la parte inferior en m''' n''' s' r' q' t' m''' resul-

tando que cada línea de la primera base tiene su homóloga y paralela en la segunda base, determinando así todas ellas dos á dos una serie de planos verticales, los cuales pueden labrarse inmediatamente desvastando la piedra del primer prisma auxiliar que se oponga al alcance de dichos planos.

MURO EN TALUD

171. Llámase así el macizo de cantería que está comprendido entre los dos planos de paramento uno de ellos vertical y el otro inclinado al horizonte teniendo ambos sus trazas horizontales paralelas. Cuando estas mismas trazas son convergentes, entonces el nombre del muro cambia y se dice que está ó es en esbiage y talud y como quiera que en este último caso las construcciones que se hagan para el aparejo son con muy pocas variantes iguales al primero, al objeto de evitar pesadas repeticiones pasaremos inmediatamente al muro en esbiage y talud ya que dentro de su estudio cabe perfectamente el primero.

MURO EN ESBIAGE Y TALUD

172. Los planos de paramento son (Lám. 6.ª, Fig. 76), el vertical $C\,D$, y el inclinado dado por las dos líneas paralelas y horizontales $E\ F$-$E'\ F'$ la una, $\alpha\ C$ proyectada verticalmente en la línea de tierra la otra, la primera cresta del talud y la segunda traza horizontal del mismo.

Por la misma naturaleza de este muro se observará que los planos horizontales que tracemos para las juntas continuas, han de cortar forzosamente en ángulo agudo al paramento inclinado, lo cual hace que en virtud del principio establecido en el núm. 155, 1.ª, tratemos de solventar esta dificultad, desviando algún tanto estas juntas á poca distancia de talud, para dirigirlas normalmente á éste. Desprendiendo pues dicha inclinación de juntas de la que tenga el talud, hemos de conocer préviamente éste para que luego la otra sea conocida. Se trata pues meramente de averiguar el ángulo de dos planos, esto es, el del talud y el horizontal de proyección y siendo su intersección común la línea $\alpha\ C$, claro está que todo plano vertical tal como $C\,\alpha$, nos cortará dichos dos planos según dos rectas que formarán un ángulo, cuyo vértice estará en α y será igual al que se busca. Unicamente faltará

hacer girar dicho plano hasta que sea paralelo al de proyección vertical y allí conocer este ángulo en su verdadera magnitud; esta operación se ha efectuado escogiendo el eje de giro en C y conduciendo $C\,\alpha$ en la dirección $C\,1$ paralela á la línea de tierra, entonces los puntos α, E, han girado describiendo arcos de circunferencia horizontales situados á las mismas alturas de los puntos; así es que el punto α viene á girar y colocarse en α' y el punto de esta cresta E en E'', siendo por lo tanto $\alpha'\ E''$ la línea de máxima pendiente del plano inclinado, y el ángulo $E''\ \alpha'\ C'$ es precisamente el del talud que buscamos. Al mismo tiempo la figura trapecial $E''\ \alpha'\ C'\ C''$ nos dá el grueso del muro con respecto á toda la sección dada por el plano $C\,\alpha$. Dividiendo ahora la altura total del muro en las partes que corresponden á las hiladas horizontales se conducirán por los mismos los planos de nivel $g''\ n$, $h''\ p$, $i''\ q$, los cuales limitaremos á unos cinco centímetros del paramento $\alpha'\ E''$ con el auxilio de la línea $x\ z$, conducida paralelamente á $\alpha'\ E''$ y á la distancia mencionada, así tendremos los puntos extremos g'', h'', i'' de los cuales podremos ya dirigir los cortes $g''\ c''$, $h''\ b''$, $i''\ a''$, perpendiculares á la línea $\alpha'\ E''$ los cuales serán una serie de facetas planas que si bien quebrantaran la junta continua, evitarán por otra parte el ángulo, agudo según ya antes hemos dicho.

Verificadas estas fundamentales operaciones, las referiremos á los planos de proyección en cuyo caso las horizontales que se proyectan en a'', b'', c'' al deshacer el giro se colocarán horizontalmente en $a\ d$-$a'\ d'$, $b\ e$-$b'\ e'$, $c\ f$-$c'\ f'$ mientras que las horizontales proyectadas según i'', h'', g'' en el rebatimiento vendrán á situarse en im-im', hf-$h'f'$, $g\ k$-$g'\ k'$.

Para evitar el ángulo agudo que el talud forma con el plano horizontal en α' conviene introducir un pequeño resalto $A''\ v''\ y$, el cual viene definido en proyecciones conforme se ha hecho en los demás elementos en el rectángulo $A\ v\ \lambda\ B$ en proyección horizontal y en la figura, de la proyección vertical $v'\ y'\ \delta\ B'$; al mismo tiempo como que el plano $C\ v$ no es perpendicular al de proyección vertical resulta que el despiezo en la testa del mismo se verá esbiajado en la figura $C''\ C\ y'\ v'\ A'\ E'$.

Definidas así todas las juntas continuas; dividiremos cada una de ellas en partes parciales por medio de juntas discontinuas alternadas sirviéndonos al efecto de una serie de planos verticales tales como $G\ L$, $H\ I$ paralelos al de máxima

pendiente pues así serán normales al talud dándonos según esto una serie de líneas paralelas que todas serán de máxima pendiente, alternándolas de una á otra hilada tal como se demuestra en la figura; más como estos planos verticales no cortarían en ángulo recto al paramento vertical posterior, desviaremos aquí del mismo modo estas juntas, terminándolas en la línea $L\ I$ paralela á $C\ D$ á la distancia de cinco centímetros y conduciendo desde los puntos extremos L, I, las $L\ K$, $I\ J$ perpendiculares al paramento vertical posterior las cuales representarán trazas horizontales de otras facetas verticales, que se combinan con las juntas discontinuas. Adviértase que estas últimas facetas desaparecían si se tratase de un muro de simple talud, único detalle que hace distinguir las construcciones de uno y otro caso.

Procede ahora á buscar las plantillas de las piedras, si se trata por ejemplo de encontrar la figura ó contorno que produce la sección del plano $L\ G$ en la primera hilada, se puede observar como se obtiene de una manera muy simple atendiendo tan solo á que dicho plano es paralelo al que hemos conducido por $C\ \alpha$, teniéndonos que dar según esto, una sección idéntica hacia la parte anterior y que solo discrepará en cuanto á su ancho, porque no es el mismo el grueso del muro considerado en todo su extensión por existir el esbiage. Esto dicho será fácil comprender que si tomamos la distancia $G\ L$ y la colocamos de y á q, levantando enseguida por q la vertical $q\ r$, se obtendrá la plantilla que indica el perímetro $y'\ q\ r\ i''\ a''\ A''\ v''\ y$, del mismo modo se verá que la plantilla correspondiente á la junta $H\ I$ será la figura $i'\ p\ s\ i''\ a''\ A''\ v''\ y'$.

173. **Labra.**—Escojamos una piedra de la primera hilada por ser de las más complicadas por el resalto que lleva en la parte inferior, suponiendo que se elige la piedra proyectada horizontalmente en el polígono $K\ L\ G\ H\ I\ J$, tomando este mismo contorno para bases de un prisma recto auxiliar cuya altura sea la máxima $d'\ \delta$ de la hilada. En las partes laterales de este prisma (Lám. 6.ª, Fig. 76') coloquemos en el lado mayor la plantilla $L^{v}\ R''\ O''\ M''\ V\ G''\ L'''$, deducida de la operación de giro que hemos hecho anteriormente, así también se colocará en la otra parte lateral la otra plantilla análoga que también hemos encontrado, la cual vendrá colocada circunscribiéndola no más á la parte vista en perspec-

tiva en $J'''\ I'''\ Q''\ P''\ N''\ V'\ H''$, así dispuestas estas operaciones auxiliares rebájese toda la parte superior de piedra comprendida en la altura $K''\ K'''$, hasta obtener un plano horizontal que concluirá cuando en él pueda trazarse la recta que une los puntos opuestos $R''\ Q''$, así tendremos la junta continua expresada en $K'''\ L^{v}\ R''\ Q''\ I'''\ J'''$; obtenida así la recta $R''\ Q''$ hágase pasar un plano por ella y las tres rectas $R''\ O''$, $O''\ P''$, $Q''\ P''$, este plano será el de la faceta que evita el ángulo agudo, la línea $O''\ P''$ y las paralelas $O''\ M''$, $P''\ N''$ determinan perfectamente el plano inclinado del talud, las cuales sirven de directrices para desvastar lo delantero de la piedra que exceda del alcance de dicho plano, más este desvaste se llevará con cuidado en las inmediaciones de la última arista $M''N''$, con motivo de no quitar demasiada piedra que pudiera interesar al plano horizontal del retallo $M''\ V\ V'\ N''$, el cual queda determinado ya con las cuatro rectas que le cierran.

Esta clase de muros suelen emplearse para contener los empujes de tierras habiéndose usado mucho para las murallas y grandes fortificaciones.

MURO EN BAJADA

174. Llámase (Lám. 6.ª, Fig. 77) muro en bajada, en rampa ó en ala, cuando tiene un talud que forma un ángulo muy agudo con el plano horizontal y siendo en general su cara de paramento el plano vertical de uno de los lados.

Suele emplearse esta construcción en las partes laterales de los pasos ó aberturas dispuestos en determinados puntos de terraplenes, siguiendo la inclinación del talud, la que corresponde á la parte superior y que siguen dichos terraplenes, evitando con esta construcción el desmoronamiento de los mismos á la par que contribuyen á fortalecer la construcción de el puente, bóveda ó paso superior que cobija la abertura que media entre margen y margen.

Escojamos nuestro plano de proyección vertical, paralelo al plano que constituye el paramento, en cuyo caso el ángulo del talud vendrá ya expresado de hecho en su verdadera inclinación con el plano horizontal y como que hemos dicho que la acuidad del ángulo era muy pronunciada con el plano horizontal, se evita aquí este defecto echando mano de una piedra auxiliar en la parte más baja del muro, la cual se la dispone

conforme muestra la marcada en *P* cuya gran masa está toda ella terminada en su periferie por ángulos rectos ú obtusos; en cuanto al contorno general del muro, afecta aproximadamente la forma de una ala, de donde se le origina el nombre y está expresada en el contorno *A" E G' B" B' A' A"*, mientras que todo el macizo está comprendido lateralmente por los planos verticales paralelos cuyas trazas horizontales son *A B, D C.*

El despiezo de juntas continuas se verificará como siempre por una serie de planos horizontales equidistantes, más como éstos cortarían aquí la cresta inclinada del muro según ángulos muy agudos, subsanaremos esta dificultad conforme hemos hecho en el caso anterior, esto es, terminando las juntas horizontales en un plano inclinado cuya traza vertical es *x z*, paralelo al talud *E' G'*, separado de él unos cinco centímetros ó más en este caso especial, dirigiendo nuevos cortes *q' c'*, *p' b'*, *o' a'* perpendiculares al plano inclinado, proyectándonos así todas las aristas de las piedras en un sentido perpendicular al plano vertical.

175. Labra.—Nada más fácil que en este muro la labra de la piedra, no hay que determinar plantillas pues éstas ya vienen dadas en las proyecciones del mismo aparejo y si nos fijamos en la pieza más complicada cual es la *P*, su trabajo quedará reducido (Lám. 6.ª, Fig. 77') á obtener un prisma cuyas bases sean la proyección vertical *A'-1-o'-a'-E'-A"* y cuya altura ó separación de bases sea el grueso *A D* del muro.

Este muro aun que en talud como el anterior, sin embargo se distingue de él por tener la acuidad más pronunciada, en que el plano inclinado no es el de paramento como el de aquél sino que lo tiene vertical y finalmente que allí la cresta es horizontal y aquí viene precisamente á formar parte de ella el plano inclinado.



CAPITULO QUINTO

ESQUINAS

176. Cuando dos muros cualesquiera convenientemente prolongados se cortan, sus paramentos en su intersección forman lo que se llama una esquina, la cual puede ser entrante ó saliente, según se considere en el interior del ángulo que forman las direcciones de estos muros ó bien en su vértice exterior; además las esquinas pueden ser rectas ú oblícuas, según que las aristas representen verticales ó inclinadas al horizonte, como pueden ser también rectilíneas ó curvilíneas, según provengan de la intersección entre sí de superficies planas, de superficies planas con curvas ó de la intersección de superficies curvas con otras de igual género; aunque estas últimas apenas se practican pues son de escasa aplicación en las construcciones. Conviene tener muy en cuenta el aparejo especial que se emplea en las inmediaciones de la esquina, para que pueda existir la debida trabazón que enlazar pueda y haga solidarios en una sola masa los dos muros que van á formarla en el encuentro. A este efecto se emplean dos sistemas que son los siguientes: 1.° **Sistema gualdrapeado.** Gualdrapear que vale tanto como alternar, queda reducido á emplear una serie de sillares de forma rectangular, superpuestos sucesivamente de modo que los que corresponden á las hiladas impares, presenten en el paramento de un muro su base ma-

yor y en el paramento del otro su cara menor que corresponde al grueso del primer muro, mientras que por la inversa, en todas las hiladas de lugar par, los sillares aparecen con su mayor dimensión en el segundo muro y con la menor en el primero y con ella demuestran en este, el grueso del segundo muro. En la Fig. 78 se demuestra con su planta y alzado esta disposición, los sillares A-A'-A''-A''' son los que ocupan el lugar impar y por lo tanto el rectángulo a' b' b'' a'' que es su mayor dimensión, se acusa en el paramento principal que es el primero mientras que en su dimensión más pequeña a d, al aparecer en el paramento lateral que es el segundo muro, dá idea en este del grueso del primero; por el contrario los sillares B-B'-B'' nos indican en los rectángulos a'' g' g'' a''' el grueso que tiene el segundo muro, apareciendo éste como cabeza en el primero y expresando su mayor dimensión e a en el muro lateral. Esta general disposición hace pues que en los dos paramentos, al existir estos sillares, que van alternando de una manera sucesiva en el modo de presentar sus testas, hace que se formen unos huecos ó resaltos tales como m g'' g' b'' que obran en forma de llaves, abrazando y comprimiendo á la vez, la serie de hiladas á cada una de ellas correspondiente, que empiezan en los sillares tales como C, contribuyendo este género de uniones á unificar las dos masas generales, convirtiéndolas en un solo conjunto.

177. 2.° **Sistema de Ramales.** Consiste en que cada una de las piedras que forma el ángulo en donde está dispuesta la esquina, participe, por medio de dos apéndices en cola ó rama, de las hiladas de los dos muros, siendo estas colas ó brazos de dos dimensiones, unas de mayor longitud que otras; unas, todas iguales que corresponden á las hiladas impares, las otras iguales también entre sí, pero de distinta longitud que las primeras y ocupan los lugares de hilada par.

La Fig. 79 proyección horizontal y vertical de dos muros rectos, que se cortan en ángulo recto y que nos dan la esquina vertical, proyectada horizontalmente en a, nos da perfectamente idea del sistema de enlace que tratamos. Así la primera piedra A como todas las de lugar impar, lleva consigo dos colas de extensión d h, para un muro y d i para el otro, mientras que su superpuesto B, así como todos los de lugar par, si bien tienen también dos ramales, estos sin embargo son el primero d c, menor que el primero d h del A y por

oposición el segundo ramal d e del B, mayor que el segundo d i del A resultando aquí también, cumpliendo con las prescripciones principales del primer aparejo, cuales eran la formación de estos resaltos, entradas y salidas sucesivas de las piedras, que permiten abrazar con éxito las hiladas de los dos muros.

Esta segunda disposición, se comprende fácilmente que ha de ser más costosa que la primera, en razón del mayor desvaste que exige la forma dada á las piezas, que cada una de ellas ha de formar ángulo con los dos ramales y en cambio en el primer sistema, todas las piezas quedaban constituídas por sencillos paralelepídos, por lo tanto piezas uniformes sin entradas ni salidas y fáciles de encontrar á primera vista en las canteras.

CHAFLAN RECTO EN UNA ESQUINA RECTA

178. Cuando dos muros se encuentran, cortándose sus paramentos según un ángulo muy agudo, entonces la arista producida por la intersección de sus paramentos, sería muy deleznable, degradándose al poco tiempo, en virtud de la reducida masa de piedra que queda por lo cerrado del ángulo; entonces es cuando se suele sustituir esta arista ó esquina, por medio de un plano intermedio, que cortando en condiciones más favorables de resistencia á los otros dos, dé en su aplicación más garantía de solidez, ensanchando al mismo tiempo la planta de los citados muros; este plano intermedio es lo que se llama chaflán y al emplearlo lo que se hace es lo que se llama **achaflanar la esquina** ó **robar el ángulo.**

En nuestro caso (Fig. 80) tenemos dos muros rectos, el uno tiene por planta la figura expresada en Q o o' R y el otro el F o' o G, al cortarse lo hacen bajo el ángulo agudo Q o G, ángulo que conviene evitar y se hace echando mano del plano vertical A B, perpendicular á la bisectriz o m' del ángulo antedicho, terminando entonces en el paramento de dicho plano A B, prescindiendo por completo de la masa excedente que queda dentro del triángulo A B o y en cambio hacia la parte posterior, si bien se emplea otro plano vertical D C paralelo al primero A B, se añade al grueso del muro el triángulo D o' C, que sirve como de compensación á la parte que omite el otro triángulo aumentado. Lo que se hace pues aquí, es dar más solidez al muro, sustituyendo á la primera arista

del ángulo agudo en *o*, otras dos verticales proyectadas en *A-A' A"*, *B-B' B"* las cuales, correspondiendo á los vértices de ángulos obtusos, ofrecen condiciones en su mayor masa, de resistir con más ventaja la injuria del tiempo, aumentando además la resistencia por si álguien quiere ponerla á prueba. Por lo demás las operaciones que forman el aparejo, quedan reducidas á las mismas que hemos visto en casos anteriores, una serie de planos horizontales, nos darán la serie de juntas continuas que correrán al mismo nivel en todos los muros, planos verticales perpendiculares á cada uno de los respectivos paramentos, nos darán las juntas discontinuas ó alternadas tal como la *c d* que nos dá la proyección *d' d"*.

Con respecto á la cara del chaflán, se trazarán también juntas discontinuas, cuyos planos *z q*, *m x*, *n t*, sean perpendiculares á los paramentos de aquel, nos darán también otra serie de juntas alternadas *q' q"*, *m' m"*, *n' n"* en más ó menos número, según sea la extensión del paramento achaflanado. Todo pues se reduce en esta cuestión á disponer los sillares de los ángulos del chaflán, de modo que ofrezcan el debido mutuo enlace entre éste y los muros adyacentes y es en este caso que puede emplearse especialmente el sistema de ramales, visto anteriormente por exigirlo así la naturaleza misma de los ángulos obtusos, formas por las cuales vienen á unirse y constituir una sola masa compacta los dos muros y el chaflán.

179. **Labra.** No ofrece nada nuevo la labra de una de las piedras del chaflán pues queda idéntica al sistema expuesto en el caso anterior ya que si se escoge la pieza indicada por *P*, subrayada en su parte correspondiente para mejor indicarla en los planos de proyección, quedará reducida á circunscribir un rectángulo *m*, *2*, *1*, *m*, el cual servirá de base auxiliar á un prisma recto, cuya altura será la de la hilada tal como *r' r"*, sobre las bases superior é inferior de este prisma auxiliar (Fig. 80'), colocaremos inscrita del mismo modo como viene demarcada en la proyección horizontal, la plantilla que allí se tiene en verdadera magnitud tal como es *x C s r A m*; ya colocadas estas dos plantillas, hágase pasar un plano vertical por cada dos líneas homólogas de estas bases, desvastando toda la piedra del prisma auxiliar, que sea necesaria para dar alcance á los mismos.

CHAFLAN OBLÍCUO

EN EL ENCUENTRO DE DOS MUROS EN TALUD

180. Se supone (Fig. 81), que los dos muros son de igual talud encontrándose en ángulo agudo, viniendo dados por sus trazas horizontales *A O*, *D O* y sus líneas de cresta *E O'*, *H O'*, paralelas á las trazas mencionadas. La altura común de los dos muros, está expresada por la horizontal *M N* y que por lo tanto representa la traza vertical del plano horizontal de cresta. Finalmente los planos verticales *L O"*, *K O"* son los paramentos que limitan los dos muros hácia la parte posterior y nos dan idea del grueso de los mismos.

Aquí lo mismo que en el caso anterior, evitaremos el ángulo agudo formado por el encuentro de los dos paramentos principales, valiéndonos de un chaflán intermedio, pero que ahora insiguiendo las propiedades de los datos, habrá de ser inclinado al horizonte como lo son los paramentos de los muros; á este efecto después de encontrada la bisectriz del ángulo formado por las trazas horizontales y tomar sobre ella una distancia convencional *O d*, trazaremos por el punto *d* la recta *B C*, perpendicular á dicha bisectriz, esta recta que cortará bajo la misma inclinación á los dos lados del ángulo, servirá de traza horizontal del chaflán que vamos á terminar, tomando en la bisectriz del ángulo de la cresta otra distancia *O' S*, conduciendo luego por el punto *S* la *F G* perpendicular á la bisectriz mencionada ó lo que es lo mismo paralela á la *B C*; entonces las líneas *F G*, *B C* siendo paralelas, determinarán un plano y encontrándose una de ellas en el plano de proyección horizontal y á la altura de la cresta, se inferirá que la primera cortará á las trazas horizontales en los puntos *B C* y la segunda á las líneas de cresta en los puntos *F G*, resultando que *B* y *F*, *G* y *C*, son respectivamente dos á dos, puntos de intersección del plano intermedio con cada uno de los planos de paramento inclinados, por lo que, las líneas que los unan tales como *B F*, *G C*, serán las líneas de arista, intersecciones del paramento del chaflán con el de los muros, quedando reducida la proyección horizontal de dicho chaflán, al trapecio *B C G F* y su proyección

vertical en el otro trapecio $B' C' G' F'$, obtenido con solo proyectar los puntos $B\ C$ en la línea de tierra y los $F\ G$ á la altura de la línea de cresta en $F' G'$. Finalmente para dar al chaflán el grueso correspondiente á su muro, conduciremos por el punto ω la línea $I J$, perpendicular á la bisectriz del ángulo de las trazas horizontales de los dos muros.

181. Despiezo.—Tratándose de paramentos inclinados, hemos tenido ya ocasión de ver que al trazar los planos horizontales de las juntas continuas, cortaban éstos á dichos paramentos según ángulos agudos, que evitábamos, desviando á una cierta distancia de los paramentos por medio de una serie de facetas que les fuesen normales, cuya operación estamos en el caso de repetir aquí, máxime cuando combinamos tres taludes, aun que de dos de ellos, esto es, los de los dos muros del dato, los supongamos iguales; más de todas maneras habremos siempre de tener en cuenta el tercer talud que corresponda al chaflán.

Escojamos un plano de proyección vertical, perpendicular á la bisectriz del ángulo de las trazas horizontales, pues así tenemos la ventaja de proyectarse simétricamente en esta proyección, el resultado de las operaciones que van á trazarse. En primer lugar, conduciendo por el punto δ un plano vertical $\delta\ A$ en dirección perpendicular á la traza horizontal $A\ B$ del primer muro, este plano nos medirá el verdadero ángulo de inclinación y rebatiéndolo alrededor de la vertical δ hasta colocarlo en el mismo plano de proyección vertical, vendrá á situarse en $\delta\ A'$, más como el punto E en el giro ha venido á situarse en M, inferimos que la $A'\ M$ es tal, que el ángulo que forma ahora con la línea de tierra, nos dá la inclinación del talud. Aquí es pues cuando repitiendo lo dicho en su lugar correspondiente, se puede trazar la $x\ z$ paralela á aquella línea inclinada separada de unos cinco centímetros, al mismo tiempo que dividir la altura total del muro en un número de partes iguales, en conformidad con el número de hiladas que se quieran, estos planos horizontales estarán expresados por las líneas ocultas $c\ \gamma''$, $b\ \beta''$, $a\ \alpha''$, las cuales cortarán á dicha línea $x\ z$ en los puntos $a\ b\ c$, de los cuales partirán las facetas normales $a\ U$, $b\ V$, $c\ X$, limitadas en el talud en los puntos $U\ V\ X$, desde los cuales se trazarán ya las horizontales $U Z$, $V\ Y$, $X R$. Se concibe que si se repitiera esta operación con respecto al otro muro del dato, vendríamos á encontrar el mismo resultado en general, atención hecha á que hemos partido de la base de que estos taludes eran iguales. Sin embargo, esta operación ha de terminarse por que dichas facetas tal como las dejamos serían indefinidas con respecto á su longitud, pues se concibe y es notorio que cada una de ellas y correspondiente á cada muro ha de estar limitada y concluída en donde empiece la faceta de la misma hilada que corresponda al paramento del chaflán. Ahora bien como ésta depende de la inclinación del chaflán á que aludimos, será preciso buscar el talud del mismo, para lo cual nos valemos del plano secante y vertical $\omega\ d$, perpendicular á la traza horizontal $B\ C$ y girándolo alrededor de la vertical ω hasta que se coloque en $\omega\ d'$, paralelo á la línea de tierra, tendremos que el punto d vendrá en d'', el punto S describirá el arco horizontal $S\ J$ colocándose en definitiva en S', la unión de S' con d'' nos dará la línea del talud, la cual vendrá cortada en los puntos R, Y, Z, por las horizontales de hilada de las facetas antes trazadas. Más es evidente que aprovechando ahora dichos puntos y trazando por ellos perpendiculares al talud tales como $R\ \gamma''$, $Y \beta''$, $Z\ \alpha''$, éstas cortarán en los puntos $\gamma''\ \beta''\ \alpha''$ á los planos horizontales de junta continua, representándonos con evidencia dichos puntos, proyecciones verticales de una serie de rectas intersecciones á los planos de faceta con los horizontales de hilada. De modo que si deshaciendo lo hecho en los dos taludes de que se ha hecho mención, venimos ha buscar la referencia de todas las líneas de corte en el plano de proyección horizontal, allí nos haremos perfectamente cargo de los justos límites en donde empiezan y concluyen las facetas de los distintos paramentos, para luego deducirlas en proyección vertical.

Nos fijaremos para esto en una sola hilada por que las operaciones son del todo idénticas con las demás. Sea la hilada $U Z$, el punto U se traslada en U' y éste ya en su verdadera posición nos da el punto de partida de la $U'y$, horizontal paralela á la traza horizontal del muro más como encuentra en y á la arista del chaflán, parte de dicho punto la $y\ y''$ paralela á la traza horizontal $B\ C$, concluyendo en y'' y empezando en éste la $y''\ U''$ perteneciente al segundo muro del dato.

En cuanto á la parte interior de la faceta, el punto a colocarase á su debida posición en a' y nos indicará ya la recta

$a' f$, que junto con la $U'y$, nos indica la proyección horizontal de la faceta del primer muro, cuya proyección trasladada simétricamente con respecto al otro muro, proporcionará la otra faceta gemela á ella entre las cuales se interpone la correspondiente del chaflán proyectada en f y $y'' g$, cuya línea $f g$ se evidencia con las construcciones su trazado al colocar á su debida posición el punto α'' que viene en α por el cual pasa la recta $f g$, paralela como todas las del chaflán á la línea de tierra.

Así pues las líneas $a' f$, g g'' estando situadas en el mismo plano horizontal que la $f g$, ésta las cortará interceptándolas en los puntos f, g, proyectados verticalmente en f', g' y uniéndolos con los puntos exteriores y, y'' obtendremos definitivamente las pequeñas intersecciones y f-y' f', y''-g y'''-g', que serán las intersecciones sucesivas de las facetas, quedando por lo tanto limitadas sus superficies con estas intersecciones.

Conforme hemos practicado en el muro en esbiage y talud, evitaremos el ángulo agudo que forman los paramentos con el plano horizontal, valiéndonos del retallo A' A'' T para los dos muros del dato y del k'' d''' d'' para el muro del chaflán, cuyos resaltos al cortarse en sus planos verticales, introducirán las pequeñas aristas B-B' B'', C-C' C''.

En cuanto á los planos que nos darán las juntas discontinuas, éstos es de rigor según ya hemos visto en casos análogos, han de ser los planos verticales que contengan la dirección de las líneas de máxima pendiente, para cada uno de los tres paramentos inclinados y en ellos se presentarán alternadas las líneas de junta, según es de ver en las respectivas proyecciones de la figura 81.

182. Plantillas.—Escogiendo una piedra de ángulo por ser la que ofrece más complicación, tal como la que está expresada en la primera hilada y figura de la proyección horizontal $1\,B\,q\,p\,I\,n$, se desprende que se necesita la averiguación de dos plantillas, cuales son las que están situadas en los planos verticales $1\,n$, $q\,p$, ya que las demás las tenemos en verdadera magnitud en el plano horizontal y que son fáciles de distinguir al primer momento. En cuanto á la primera la $n\,1$, es lo mismo que si la trasladaramos paralelamente así misma $A\,\delta$, girándola luego alrededor de la vertical δ δ' junto con el giro que hemos hecho en el talud y claro es que en

el plano vertical la tendremos inmediatamente rebatida en la figura A' A'' T' U a δ'' δ. Del propio modo, la que corresponde al plano vertical $p\,q$, este trasladado paralelamente asimismo en ω d y éste último, girando junto con la sección recta del muro, hasta venir á colocarse en ω d' paralela al plano vertical, nos dará la plantilla en verdadera magnitud en d'' d''' k'' Z α'' ω'' ω'.

183. Labra.—Empleando el sistema de escuadría, escogemos un bloque dándole la forma de prisma recto, en que las bases sean la máxima proyección horizontal de la piedra y la altura la total que indique la proyección vertical de la Figura 81, en la cara vertical $1.\ 2.\ n''$ que representa el plano vertical de junta discontinua del primer muro, se colocará la primera plantilla encontrada y una vez colocada vendrá á tomar la disposición que indica el contorno $1.\ 1.'\ s.\ v.\ t.\ n'\ n$, lo propio que la segunda plantilla que corresponde al plano vertical ω d, se situará en la disposición p' d u r q' q. Sobre el plano horizontal superior y por los puntos v, u, se trazarán respectivamente las horizontales $v\,y$, $u\,y$ paralelas á las $2.\ 3$ y $3.\ 4$, el punto y de intersección así obtenido, pertenecerá á la arista de combinación de las dos caras de paramento; trácense igualmente á la altura de $q\,q'$, las horizontales q' B' y $1'$ B', cuales cortándose en B' nos limitarán la pequeña vertical B B' del retallo. Ahora la B' $1'$ y la $1.\ s$, nos determinan un pequeño plano horizontal que puede trazarse desde luego, lo propio que el dado, por las rectas B' q' y q' r, que en rigor no es más que continuación del primero. Obtenido el ángulo P, ya se puede desvastar toda la parte delantera de la piedra, hasta obtener los planos del talud $s\,P\,y$ v, $P\,r\,u$ y. Las líneas t n', d p' son tales, que nos determinan el plano horizontal de asiento, el cual corta á los paramentos posteriores según las rectas n' I', I' p', las cuales se obtienen tomando sobre la vertical I'' I, la pequeña altura I'' I' igual á n'' n' y uniendo enseguida I' con n' de una parte y con p' de otra, hágase pues pasar el plano por estas cuatro rectas, limitándose con la plantilla que está en verdadera magnitud en el plano horizontal y que colocada vendrá á tomar la posición t n' I' p' d f, la que nos dá la posición de las rectas $t\,f$, $f\,d$. La primera junto con su paralela $v\,y$ nos determinan el primer plano de faceta y la segunda junto con su paralela $y\,u$, nos dá el segundo plano de faceta correspondiente al chaflán; desvás-

tese la piedra hasta obtener estos planos y la natural intersección que así resulte será la *y f*.

ESQUINA OBLICUA

EN EL ENCUENTRO DE UN MURO RECTO CON OTRO EN TALUD

184. Las rectas (Fig. 82) *B C*, *E F* son las trazas horizontales de los planos verticales de paramento que comprenden el muro recto; las rectas *A B*, *G H*, *D E* son respectivamente la traza horizontal, la cresta y el plano vertical posterior del muro en talud. Para facilitar las operaciones se escoge un plano de proyección vertical, que sea paralelo al muro recto, la línea de tierra será *L T*.

En *L' T'* se ha trazado un plano vertical perpendicular á la traza horizontal del muro en talud, cuyo plano rebatido nos dará en *A A' I G' G'' T'* la sección recta de dicho muro en talud, en la cual hemos ya de hecho como en los demás casos, evitado el ángulo agudo con el plano horizontal echando mano del resalto *A A' I*. Esta sección recta la hemos podido rebatir porque forma parte del dato, ya que por él sabemos que la línea de cresta *G H*, ha de estar situada á la altura *G G'*, proyectándose solamente en un punto *G'* en el rebatimiento de que se trata.

En esta misma sección recta se puede disponer el despiezo de juntas continuas $\alpha\, p$, $\beta\, o$, $\gamma\, n$ así como las facetas que evitan el ángulo agudo $a\, \alpha$, $b\, \beta$, $c\, \gamma$ por las mismas operaciones ya mentadas en casos anteriores; las líneas de junta vistas *a*, *b*, *c* se proyectarán en el plano horizontal limitándose á encontrar el muro recto y serán las $a\, a'$, $b\, b'$, $c\, c'$, lo propio que las ocultas α, β, γ, vendrán á proyectarse en proyección horizontal según $\alpha\, \alpha'$, $\beta\, \beta'$, $\gamma\, \gamma'$; lo propio se hará con la proyección del resalto inferior.

Solo falta ahora unificar todas estas operaciones de despiezo con las correspondientes al muro recto y para esto es que emplearemos el nuevo plano vertical cuya línea de tierra es *L T*. En éste, la línea de cresta será *M N*. cuya distancia á la línea de tierra se fijará con arreglo á la altura dada *G G'*, pudiendo trazarse la esquina desde luego, toda vez que la proyección horizontal del talud estando comprendida entre las paralelas *I I'*, *G H*, resultará que la intersección de esta cara inclinada de paramento con el plano vertical *B C* del

muro recto, vendrá proyectada en *I' H* por lo que se inferirá que proyectando verticalmente *I'* en *I''*. *H* en *H'*, la unión de *I''* con *H* nos dará la proyección vertical de la esquina. En cuanto á las líneas de junta las obtendremos con solo trazar las paralelas horizontales, $c''' c''$, $b''' b''$, $a''' a''$, así como las ocultas $n' \gamma''$, $o' \beta''$, $p' \alpha$ á las alturas respectivas de los puntos c, b, a, γ, β, α á la línea de tierra *L T*, esto es, un simple cambio de línea de tierra. Mas dos á dos estas respectivas líneas paralelas, una vista y otra oculta, tal como $a''' a''\, p' \alpha''$, determinan el plano de faceta, éstas cortarán al paramento vertical del muro recto según las líneas $a'' \alpha''$, $b'' \beta''$, $c'' \gamma''$, para seguir luego las hiladas horizontales de las juntas continuas que ahora aparecen vistas en el muro vertical en $\alpha'' p''$, $\beta'' o''$, $\gamma'' n''$.

Resta ultimar el aparejo empleando las juntas discontinuas por medio de planos verticales en el muro en talud, que corten á su paramento según las líneas de máxima pendiente, alternándolas de hilada en hilada conforme hemos visto en los casos anteriores, mientras que en el muro vertical se obtendrán echando mano según sabemos de planos verticales perpendiculares al paramento.

Todas las plantillas de junta discontinua referentes al muro en talud las encontraremos conforme hemos visto en otros casos en la sección recta producida en el muro y que ya no repetimos por haberlo expresado repetidas veces.

185. Labra. Escojamos para la labra una piedra formando parte de los dos muros llevando consigo una parte de esquina y sea ésta la expresada en proyección horizontal por todo el perimetro que acusa la figura rayada *d h k r m B* y proyectada verticalmente en la parte vista según todo el rayado que nos valemos para indicarla.

Escojamos al efecto (Fig. 82') un prisma cuyas bases sean el contorno aparente de la piedra en el plano de proyección horizontal y la altura la máxima que alcance la hilada de que forma parte, así este prisma auxiliar vendrá expresado en *1. 2. 3. 4. 5. 6.* la base superior y en cuanto á la inferior está en *d B m* en lo que se refiere á la parte vista. En el plano vertical *d 1-6.* que representa el corte de la junta discontinua del muro en talud se colocará la plantilla *d d' e F g h* deducida de la sección recta del muro de la (Fig. 82) en la cara vertical *2. 3. m B* se colocará también otra plantilla

tal como $B\ B'\ I\ a\ \alpha\ m'\ m$ la cual viene producida por la intersección de toda la primera hilada del muro en talud con el plano vertical de paramento del muro recto, esta plantilla la tenemos proyectada en verdadera magnitud verticalmente en $B'\ B''\ I''\ a''\ \alpha''\ m''\ m'$. Con estas dos plantillas colocadas podemos trazar inmediatamente la línea horizontal que una f con a y tomando las alturas $5\ k$, $4\ r$, iguales á $6\ h$ ya desde luego podremos descargar la parte superior de piedra hasta obtener el plano horizontal que pase por los puntos $g\ h\ k\ r\ m'\ \alpha$, limitándola en $\alpha\ g$ por medio de la plantilla de la proyección horizontal señalada con las mismas letras. Entonces es cuando obtenida la línea $\alpha\ g$ se puede concluir de desbastar la parte superior hasta obtener el plano de faceta dado por las líneas paralelas $\alpha\ g$, $a\ f$. Uniendo B' con d' se obtendrá el límite del plano vertical del retallo en $d\ d'\ B'\ B$ é inmediatamente con la recta $B'\ d'$ y las $d'\ e$, $B'\ I$ puede labrarse el plano horizontal del retallo $d'\ e$, $I\ B'$ y finalmente tenemos ya todo el perímetro $f\ a\ I\ c$ del paramento inclinado por lo cual puede labrarse éste desvastando la piedra que á ello se oponga.

ESQUINA OBLICUA

ENLACE DE DOS MUROS EN TALUD DE DISTINTA INCLINACIÓN, VALIÉNDOSE DE UN MURO INTERMEDIO CUYO PARAMENTO ES UNA SUPERFICIE ALABEADA

186. Los muros en talud están dados 1.° por las trazas horizontales $A\ B$, $C\ D$ de sus planos inclinados 2.° por sus líneas de cresta $I\ J$, $K\ M$ colocadas á la altura del plano horizontal $I''\ M''$ 3.° por sus paramentos verticales posteriores $E\ F$, $G\ H$ y 4.° por sus secciones rectas dadas por $L'\ T'$, $L''\ T''$ y que rebatidas son la una $A\ A'\ a\ I'\ E'\ E$ y la otra $H'\ M'\ a'''\ D'\ D\ M$ y en las cuales ya se ha evitado el ángulo agudo con el plano horizontal al mismo tiempo que se han determinado los despiezos de juntas continuas con los paramentos.

Por un motivo cualquiera se quiere evitar el encuentro natural de estos dos taludes, ya sea para evitar el ángulo defectuoso que producirían, ya sea para ganar terreno hecha omisión de parte de estos muros en las inmediaciones del ángulo ó ya para que el enlace de los mismos tenga mejor resultado, se introduce aquí un muro intermedio, cuyo paramento forzosamente ha de ser alabeado, en atención á que

es una exigencia del problema, que el primer muro termine en la arista $B\ J$ y el segundo en la arista $C\ K$ pues con estas condiciones se impone el alabeo de la superficie. En efecto: La superficie intermedia que vá ha enlazar los dos taludes, ha de contener las líneas $J\ B$, $K\ C$, en donde concluyen aquellos, al mismo tiempo que ha de contener también las rectas horizontales $B\ C$, $J\ K$, que unen dos á dos las extremidades de las dos esquinas, y como estas, $B\ J$, $C\ K$, son dos rectas situadas en planos distintos, mientras que las $B\ C$, $J\ K$, aunque también lo están pero que son paralelas visiblemente aun mismo plano cual es el horizontal, de aquí se infiere que el cuadrilátero alabeado $B\ C\ K\ J$ que ocupa todo el paramento intermedio podrá ser engendrado por una recta horizontal, tal como $B\ C$, apoyándose constantemente con las rectas $J\ B$, $K\ C$, consideradas como directrices, y estando en todas sus posiciones paralelas al plano horizontal que podrá tomarse como á director, deduciendo de aquí que el paramento alabeado así formado será un paraboloide hiperbólico.

Nada más fácil ahora, que concluir el aparejo, en la proyección horizontal, pues en cuanto á lo que se refiere á los muros en talud, se trazarán las proyecciones horizontales de las facetas, determinadas cada una por dos rectas, una vista y otra oculta, repitiendo lo que hemos hecho en casos anteriores, así es que, las líneas de junta concluirán en las aristas $a'\ J$, $a''\ K$ siendo por lo tanto $a\ a'$, $b\ b'$, $d\ d'$ de una parte y $a'''\ a''$, $b'''\ b''$ y $d'''\ d''$ de otra, de modo que las líneas $a'\ J$, $a''\ K$ quedarán así divididas en partes iguales dado caso que la separación ó altura de las hiladas lo fuese; uniendo ahora, a' con a'', b' con b'', c' con c'', d' con d'' se tendrán, las hiladas horizontales de las facetas de la parte alabeada.

En cuanto á lo que se refiera á las líneas ocultas de estas facetas, esto es, en donde cortan á los planos del asiento, vendrán proyectadas en $\beta\ \beta'$, $\gamma\ \gamma'$, $\delta\ \delta'$ en un muro y en el otro; $\beta'''\ \beta''$, $\gamma'''\ \gamma''$, $\delta'''\ \delta''$ limitándolas todas ellas en las $b'\ \beta'$, $c'\ \gamma'$, $\gamma'\ \delta'$ por una parte y por otra en $b''\ \beta''$, $c''\ \gamma''$, $d''\ \delta''$ cuyas direcciones de estos pequeños límites son las bisectrices de cada uno de los ángulos que se forman en cada uno de los puntos b', c', d', etc..... b'', c'', etc. de cada línea de esquina; finalmente uniendo β' con β'', γ' con γ'', δ' con δ'', se tendrá así una serie de rectas horizontales que vienen á ser las intersecciones de los planos de asiento de junta continua con las superficies de faceta que evitan el ángulo agudo con el paramento

alabeado. Y aquí merece notarse, que tal como hemos llevado esta última operación las facetas son alabeadas, pues que una de ellas, por ejemplo la que se proyecta en $b' b'' \beta'' \beta'$ está formada en el espacio por un cuadrilátero alabeado, en que dos á dos, los lados opuestos se encuentran en distinto plano, por lo que podríamos trazar distintas generatrices de esta faceta, dividiendo las rectas $b' b''$, $\beta' \beta''$ cada una en un mismo número de partes iguales y uniendo entre sí los puntos homólogos tendríamos una serie de rectas que juntas determinarían el lugar geométrico de la junta de faceta, cuya superficie según es de prever forma parte de un paraboloide hiperbólico. Sin embargo, esta faceta pudiérase haber obtenido en superficie plana, con solo trazar desde los puntos β'', γ'', δ'' líneas respectivamente paralelas á las aristas de faceta $b'' b'$, $c'' c'$, $d'' d'$ terminándolas en donde cortaran á las prolongaciones de $\beta\, \beta'$, $\delta\, \delta'$, $\gamma\, \gamma'$ pues tendríamos así una serie de pares de líneas paralelas que determinarían evidentemente un plano cada serie; pero que no suelen así emplearse en atención á verificarse los encuentros muy deformados alrededor de los vértices b', c', d'.

Este muro intermedio se terminará como todos y hacia la parte posterior, por el plano vertical $F G$ con que termina el grueso del muro.

Unifiquemos ahora todas las operaciones refiriendo todo el aparejo á un mismo plano de proyección vertical cuya línea de tierra es $L\ T$; en él la altura vendrá expresada por la que indica la horizontal $I''\ M''$ igual á la altura $M\ M'$ y representará el plano de cresta de los tres muros; así proyectando a' en a^{IV}, J en J', a'' en a^{V}, K en K' tendremos expresadas las proyecciones verticales de las esquinas $a^{IV}\ J'$, $a^{V}\ K'$ y que deslindan los dos planos laterales del paraboloide hiperbólico intermedio y empleando simplemente el procedimiento de cambios de planos con respecto á las hiladas horizontales y facetas tanto en la parte vista como oculta se podrán ir marcando las horizontales $g'\ m'$, $f'\ k'$, $e'\ h'$, así como las señaladas de puntos que vienen en pos de cada una de estas últimas pudiéndose enseguida determinar las intersecciones de estas facetas pues tomando en consideración las $b'\ \beta'$, $c'\ \gamma'$ de la proyección horizontal no habrá más que proyectar los puntos β', γ' á sus correspondientes alturas β^{IV}, γ^{IV} y las uniones $b^{IV}\ \beta^{IV}$, $c^{IV}\ \gamma^{IV}$ nos darán las rectas de intersección pudiendo encontrar las otras de un modo semejante.

Falta solo dividir las hiladas horizontales valiéndonos de las juntas discontinuas cuyas serán para los muros en talud planos verticales paralelos á las secciones rectas ya trazadas dándonos así líneas de máxima pendiente alternadas tales como $Z'\ V'$ tanto para un muro como para otro de los laterales y que no detallamos más, porque basta lo expresado en la figura y lo dicho en las lecciones anteriores y en cuanto al paramento alabeado nos valdremos, de planos verticales tal como el expresado en $\rho\ \theta$ perpendicular á la línea horizontal intermedia entre $a'\ a''$ y $b'\ b''$, este plano por su situación especial nos cortará al paramento de hilada según una línea de escasa curvatura dentro de los límites θ y ρ en que se emplea siendo una rama de hipérbola cuyos tres puntos ρ, ω, θ (que abajo están en línea recta por estar situados en un plano vertical) proyectados arriba en ρ', ω', θ' que unidos nos darán la curva á que aludíamos cuya operación de despiezo repetiremos tantas cuantas veces sea necesario para el mencionado paramento.

187. Las plantillas referentes á los muros en talud tal como $Z\ T$ las encontraremos como siempre en la sección recta del muro y en cuanto al muro de paramento alabeado tal como la proyectada en $R\ N$ la podremos rebatir fácilmente alrededor de su traza horizontal trasladándola paralelamente así misma en la Fig. 83', para que no nos embarguen las construcciones anteriores, en el rebatimento los puntos R, Q, P, O, N, vendrán á tomar las respectivas posiciones R', Q', P', N', O cuyas alturas las mediremos en el plano vertical desde la línea de comparación $X'\ O'$ hasta el punto que se considere, más como las líneas $Q'\ P'$, $P'\ N'$, $N'\ O$ de la Fig 83' son líneas curvas será necesario echar mano de puntos intermedios para precisarlas cuya operación por ser facilísima comprenderá el recto criterio del lector.

188. Labra.—Si escojemos una piedra de la segunda hilada y que forme esquina tal como la proyectada en $Z\ b'\ N\ R\ S\ T$. Se preparará un prisma auxiliar (Fig. 83'') cuyas bases sean el contorno de la proyección expresada y cuya altura la máxima de la piedra esto es $7\ R$ igual á $P'\ O'$ de la Fig. 83 colóquese en el plano vertical 4-5 la plantilla $X\ Z\ V\ U\ T$ sacada de la sección recta del muro en $c\ \gamma\ f''\ g''\ \beta\ b$ al mismo tiempo en el plano vertical $1\ s\ 7\ R$ se dispondrá

la plantilla deducida en la Fig. 83'. Así podremos trazar sobre el plano superior las líneas *V c* paralela á *4-9*, tomando sobre ella una magnitud *V c* igual á *V c'* de la proyección horizontal uniendo enseguida *c* con *P*. Desde el punto *Z* trácese la *Z b* paralela á *3-2* igual á la *Z b'* de la proyección horizontal uniendo luego *b* con *N*, hechas estas construcciones prévias puede desvastarse toda la parte de piedra que se oponga al plano inclinado *Z V*, *c b* y determinado que sea este plano, que será el de talud, tendremos la recta *c b* y que junto con la *P N* serán dos directrices que regirán la labra de la superficie alabeada *c b N P*; para lo cual bastará expresar en proyección horizontal posiciones de generatrices cuales cortarán á las líneas de junta discontinua *P N* y á la arista *b c* en partes las cuales se trasladarán á la piedra y luego desvastando la parte superpuesta hasta poder ensayar perfectamente varias posiciones de regla que pasen dos á dos por los puntos de división *1'-1"*, *2'-2"*, *3'-3"*, etc. en cuyo caso su lugar geométrico será la superficie alabeada. Llevando luego el desvaste en la parte superior aligeraremos el bloque de toda la altura *7-R* labrando un plano horizontal hasta que en él podamos para limitarlo colocar la plantilla *T U γ Q R'* en cuyo caso uniendo γ con *c* se obtendrá el límite de la faceta *V U γ c* del talud y luego con el auxilio de *c γ*, *P Q* como á directrices se puede trazar la superficie ligeramente alabeada de faceta del muro intermedio y finalmente trazando por la parte inferior la *X β* paralela á *3-2* igual en magnitud á *X β"* de la proyección horizontal tendremos su punto extremo β que unido á *O* nos darán los límites de las dos facetas inferiores la una plana *Z Y β b* y la otra alabeada *b N O β* cuya labra y desvaste se llevará á cabo como en las facetas superiores.



CAPITULO SEXTO

ACUERDOS

189. Cuando dos superficies se enlazan por medio de una tercera que les sea tangente de manera á formar las tres, al parecer, una sola superficie sin solución de continuidad en los enlaces, entonces es cuando se llama acuerdo la superficie intermedia que los une con las condiciones antedichas. Según esto existen varios acuerdos obedeciendo á superficies distintas, según sea la generación de las dos superficies que van á ser acordadas.

Hemos visto en el capítulo anterior como se unen dos muros, ya naturalmente formando esquina en su encuentro ó ya también con el auxilio de un chaflán intermedio. Falta pues ahora estudiar dicha unión por medio de los acuerdos, esto es, por medio de un muro intermedio tal, que su paramento, enlace con los de los dos muros que van á ser acordados, sin que exista la menor solución de continuidad, siendo por lo tanto perfectamente tangentes entre sí la superficie intermedia con las dos laterales.

190. Acuerdo cilíndrico recto.—Llámase muro cilíndrico recto, el macizo de cantería que está comprendido entre dos paramentos que son cilindros rectos. El muro cilíndrico recto puede estudiarse ya suelto é independiente de por sí ó ya en

combinación con otros muros, cortándolos y también enlazándolos constituyendo así un acuerdo y como el estudio de este último caso puede dar perfecta idea de los otros dos casos con respecto á las operaciones generales, de aquí es que escojamos el estudiarlo en forma de acuerdo como á caso más general.

En la (Fig. 84) se tiene un muro recto comprendido entre los planos verticales *A C*, *D F* el cual viene á ser cortado formando un cierto ángulo con otro muro recto *B C*, *E F* que también representan las trazas horizontales de los planos verticales que le limitan. Sobre el plano vertical perpendicular á la bisectriz del ángulo *A C B* se trazará el plano horizontal *J 1* que representa la altura máxima de los dos muros.

Por motivos especiales se quiere evitar el ángulo que forman estos muros sustituyéndolo por una superficie que enlace de una manera continua los paramentos de los mismos siendo apropósito en este caso un cilindro vertical pues siempre podrán establecerse dos verticales una en cada uno de los planos que sirvan de generatrices de contacto de ellos con el cilindro intermedio.

Al efecto escogiendo un punto *O* en la bisectriz del ángulo de las trazas horizontales pueden trazarse desde luego y partiendo de dicho punto dos perpendiculares *O G*, *O G'* cuyas perpendiculares con evidencia serán iguales y tales que con uno de estos radios *O G* se puede trazar una circunferencia que pasará también por *G'* y á la vez será tangente en *G* y *G'* á las trazas horizontales de los planos verticales que forman los paramentos del muro; por lo tanto el cilindro vertical que se levante sobre *G M N G'* será tragente á los paramentos de los muros á lo largo de las generatrices verticales que se proyectan horizontalmente en los puntos *G*, *G'*.

Por igual razón el arco circular *H P Q H'* será la traza horizontal de un cilindro vertical cóncavo que será tangente á los paramentos posteriores y lo será á lo largo de las líneas de contacto verticales que se proyectan en el plano horizontal en los puntos *H*, *H'*.

Por lo tanto el muro cilíndrico recto *H H' G' G* cuya planta forma un trapecio mixtilineo es el muro intermedio que constituye el acuerdo de los otros dos muros verticales.

El despiezo de juntas continuas se producirá por una serie de planos horizontales situados á las alturas, *1*, *2*, *3*, etc. y nos darán por hiladas una serie de zonas todas iguales compuestas en la cara anterior de tres partes, dos planas y la tercera cilíndrica de enlace de aquellas, todas proyectadas horizontalmente en las trazas horizontales de las superficies límites.

En cuanto al despiezo de las juntas discontinuas en los muros rectos, se procederá conforme vimos al tratar en particular de los mismos y en cuanto á lo concerniente al muro curvo cilíndrico habiendo de cortar normalmente los planos de junta discontinua á dicha superficie cilíndrica sus trazas horizontales concurrirán en su prolongación al punto *O*, por lo cual podremos dividir la base en un número de partes iguales tales como *S M*, *M N*, etc. proyectando enseguida verticalmente las verticales de los puntos *S*, *M*, *N*, etc. en *S' S''*, *M' M''*, *N' N''* reapareciendo todas estas verticales en las hiladas de lugar impar. Del mismo modo procederemos para las hiladas de lugar par teniendo en cuenta tan solo que cada una de sus juntas tales como *R' R''* caigan sobre el macizo á la mitad de la línea de hilada *S'' M''* de la piedra anterior y siguiente.

191. Labra.—Sea la piedra proyectada horizontalmente en *M N Q P* y verticalmente en *M' M'' N' N''*.

Constrúyase ante todo en la figura 84' un paralelepípedo auxiliar cuyas bases sean el rectángulo *a b c d* circunscrito á la proyección horizontal de la piedra y cuya altura sea la de una hilada, sobre la base superior é inferior se colocará la plantilla *M N Q P* de la proyección horizontal en la misma disposición inscrita con que se ha dispuesto en la planta. Así las cosas únanse dos á dos los puntos homólogos de las dos bases *n n'*, *q q'*, *p p'*, *m m'*; de este modo tendremos determinados los planos de junta *n n' q' q*, *m m' p' p*, pudiendo con esto desvastar todas las partes laterales de la piedra hasta obtener los planos que pasen por dichas líneas.

Para labrar el cilindro anterior todo quedará reducido á dividir las curvas *m n*, *m' n'* en un número de partes iguales desvastando todo lo excedente que se encuentre delante de estas curvas hasta tanto que una regla pueda resbalar en toda su extensión sobre la superficie de la piedra al ir uniendo sucesivamente los puntos homólogos de división, *1* con *1'*, *2* con *2'*, *3* con *3'*, etc. Igual procedimiento se seguirá con respecto á la parte cóncava *p q q' p'*.

Como á principio general y para establecer la debida so-

lidez en las inmediaciones de la unión ó enlace de los muros, téngase en cuenta, sea cualquiera el acuerdo de que se trata, que en donde se verifique dicho acuerdo se ha de proscribir por completo que haya línea de junta; de modo que así la piedra que esté colocada en el sitio de la unión forme parte de una y otra superficie que se enlaza.

192. Si como en el caso que se acaba de estudiar, el paramento interior es equidistante del exterior las directrices de los dos cilindros vemos que son dos curvas paralelas, y las juntas discontinuas verticales, son planos dirigidos según las normales comunes á estas curvas. Más si los dos paramentos no reunieran aquella circunstancia como acontece algunas veces entonces se hace forzoso para satisfacer las condiciones de normalidad, producir una junta quebrada formando así una doble junta compuesta de dos planos verticales *a b*, *c b*, normal el primero á la curva anterior y el segundo á la posterior (Fig 84″, Lám. 8). Esta clase de junta quebrantada no hay ningún inconveniente en producirla, si es cuestión pura y simplemente de establecer el solo contacto con tal que el labrado sea hecho á conciencia; más en el concepto que el muro tuviera que resistir fuertes empujes sería conveniente variarla para que aquella fuerza pudiera ser contrarrestada con más éxito valiéndose de una sola superficie excluyendo la solución de continuidad últimamente adoptada viniéndola á sustituir por la única superficie cilíndrica vertical cuya traza sobre el plano de la base sería la curva *d e*, normal á la vez á la base del cilindro exterior convexo y al del posterior cóncavo tal como marca la (Fig. 84″).

Finalmente si á tanto llegara que no quisiéramos emplear una junta cilíndrica como la anterior; podríamos valernos de una junta plana cuya traza horizontal *m n* (Fig. 84‴) fuese perpendicular á la línea *p q*; intermedia entre las dos citadas.

ACUERDO CÓNICO RECTO Fig. 85

193. Se emplea como acuerdo el cono recto, cuando se trata de unir de un modo continuo, los paramentos inclinados de dos muros en talud siendo éste igual en los dos. Aparte de que el muro cónico recto puede construirse por si sólo é independiente, y también combinado con intersecciones con otros muros, nos concretaremos á dar un ejemplo de él, aplicado á un acuerdo, pues conocido éste, se comprenderá perfectamente los otros dos casos de aplicación, por ser idénticas las operaciones de despiezo, labra y proyecciones.

Llámase muro cónico recto, el macizo de cantería comprendido entre dos paramentos tales que el anterior lo forma una superficie cónica recta y el posterior está constituido en general por un cilindro cóncavo recto.

Sean en la (Fig. 85, Lám. 9), dos muros de igual talud, que se cortan sus trazas horizontales en ángulo recto; el uno está expresado por *A B J E* y el otro por *P K C D*, los dos se suponen indefinidos, siendo en ellos las *A B*, *C D* las trazas horizontales, *I F*, *G H* las líneas de cresta proyectadas verticalmente á la altura *M N* y finalmente *E J*, *K P* las trazas horizontales de los planos verticales que limitan los paramentes posteriores, expresando así el grueso respectivo de los muros en su planta.

El plano de proyección vertical escogido, se ha hecho de modo que sea perpendicular á la traza horizontal del paramento inclinado de uno de los muros, pues así abreviamos operaciones, por que en el mismo plano vertical existirá la sección recta del muro *A b c M E′ E* que nos dá el ángulo que forma el talud *M A E* con el plano horizontal, cuyo ángulo es el mismo que el referente al otro talud y así no tendremos que acudir como en los casos precedentes, á nuevos planos de proyección ó rebatimientos auxiliares.

Con esta disposición de los datos, queremos evitar el encuentro de los muros, sustituyéndolo por el acuerdo en cuestión, pues aparte de ganar más terreno para el despejo de la vía pública, será de un efecto más agradable si las superficies se enlazan de una manera continua, pasando la intermedia con gradaciones insensibles de la primera á la segunda.

El cono recto circular se presta perfectamente al enlace, toda vez que teniendo todas sus generatrices una misma inclinación con el plano de la base, siempre podremos establecer en dichos dos planos, dos rectas de igual inclinación con el plano horizontal, las cuales haciendo que se corten en un punto de la común intersección de estos dos planos, podrán servir de generatrices de contacto con el cono que se construya tangente á los mismos.

Escójase un punto *O* en la bisectriz del ángulo de las trazas horizontales, si desde este punto, se trazan las perpen-

diculares $O B$, $O C$ á dichas trazas, es evidente que estas distancias serán iguales y desde luego se podrá trazar el cuarto de círculo $B g C$ tangente á las $A B$, $C D$; así como del mismo modo el $F G$ tangente á la línea de cresta y el $J K$ á los paramentos posteriores.

Más como los planos verticales que pasan por $O B$, $O C$ nos cortan á los taludes según las líneas de máxima pendiente é iguales $B F$, $G C$, éstas prolongadas en el espacio vienen á cortarse en el punto proyectado en O, pudiendo éste servir como de vértice de un cono recto de base circular $B g C$ tangente á los planos en talud á lo largo de las generatrices $B F$, $G C$, siendo en su virtud el cuarto de círculo $F G$ la sección del propio cono con el plano horizontal de cresta.

El despiezo de juntas continuas será formado por una serie de planos horizontales, llevados á la altura de las hiladas con que habremos dividido la altura total, las cuales se presentan ocultas pasando por los puntos de división d, $1'$, $2'$ y son ocultas en razón á que como en los ejemplos anteriores cortarían estos asientos horizontales á los paramentos en ángulos agudos, se introducen á continuación y á unos cinco centímetros del paramento, las pequeñas facetas normales al mismo, valiéndonos de la línea auxiliar $x z$ y trazando las $d a$, $1'$-1, $2'$-2 perpendiculares al talud, de modo que trazando horizontales por los puntos a. 1. 2. éstas serán las líneas de juntas continuas de las facetas correspondientes á la parte vista.

Es evidente ahora que todas estas líneas de junta tanto vistas como ocultas, se proyectarán horizontalmente según paralelas á las trazas horizontales de los planos en talud, pero considerándolas en el paramento cónico, serán cuartos de circunferencia, respectivamente tangentes á las rectas horizontales de hilada que les corresponde, pues cada tres líneas de una misma altura, pueden considerarse como que provienen de la intersección de un plano horizontal con los tres muros, esto es; los dos en talud y el cónico recto y siendo tangentes en sus paramentos, tangentes han de ser las secciones que resulten. En cuanto á las superficies de faceta que evitan la acuidad, serán planos conforme ya sabemos en los muros en talud, pero, en lo referente al paramento cónico, serán superficies cónicas rectas de vértice invertido, toda vez que estando formadas por una serie de rectas perpendiculares cada una de ellas á la generatriz correspondiente de un cono recto y á lo largo de todos los puntos de un mismo paralelo (por que se considera el cono de revolución) claro es que todas estas normales irán á concurrir en un mismo punto O del eje y todas ellas formarán por lo tanto un cono con las condiciones antedichas. Según esto queda comprendido como los enlaces de todas las líneas rectas y circulares de las juntas tendrán lugar en los puntos de división entre los taludes y el cono; esto es en las generatrices de acuerdo ó de contacto.

Las juntas discontinuas serán planos verticales en dirección á las líneas de máxima pendiente en los taludes, y en el cono si bien continuarán siendo planos verticales, tales como $h t$, $p q$, éstos concurrirán todos al eje vertical O, pues reunen la condición de cortarnos al cono según las secciones más fáciles como son rectas generatrices; y á la vez contienen todas las normales á la superficie y que pueden trazarse á lo largo de dicha generatriz. Cumplen pues con las condiciones requeridas al principio de la teoría, y por lo tanto interrumpiendo y alternándose nuevamente en las hiladas las generatrices que así resulten; tendremos ya establecido el aparejo.

Se comprende fácilmente que cualquier plantilla de junta vertical del cono, se tiene ya establecida en el corte ó sección recta de los taludes, pues ha de ser en un todo igual á la que correspondería al muro en talud en la misma hilada. En efecto si escogemos la piedra que viene proyectada horizontalmente en $m g r n$ limitada posteriormente en el cilindro $m n$, concéntrico con el paramento posterior, las dos plantillas iguales $m g$, $n r$ pueden hacerse girar alrededor del eje vertical O hasta venir á colocarse en el plano $B J$ que coincide con la sección recta del talud, trasladando luego esta sección paralelamente á sí misma hasta coincidir con el plano vertical $A E$, y entonces cada una de estas plantillas escogidas coincidirá con la $A b c a d m' m''$ que es la misma que pertenece á parte de la primera hilada del muro en talud.

194. Labra.—Escogiendo para la labra la misma piedra que ahora hemos señalado, se empezará labrando un prisma cuyas bases sean su máxima proyección horizontal, y cuya altura sea la mayor que alcance toda la hilada y así se llegará á obtener el prisma (Fig. 85', Lám. 9) $G G' R'' N'' M'' M$

$N\,R\,G$ tal como si se tratase de un sillar correspondiente á una hilada de un muro cilíndrico recto, esta forma será auxiliar y se transformará enseguida por las operaciones subsiguientes en la verdadera correspondiente al cono, y para esto colocaremos lateralmente en los planos verticales que pasan por $G''\,M''$, $R''\,N''$, la plantilla que se ha deducido en el corte ó sección recta de la figura 85 viniendo establecidas en $G\,G'\,H\,I\,K\,M'\,M$ de una parte y $R\,R'\,Q\,P\,O\,N'\,N$ de otra, esto hecho por los puntos P é I colocaremos la cercha $P\,I$ que formaremos tomándola de su verdadera magnitud que está en el plano horizontal en $p\,i$, señalándola sobre la piedra por medio de un trazo continuo; al mismo tiempo señalaremos la curva $M'\,N'$ por medio de otra cercha ó por mejor decir de una regla flexible que encojeremos de manera que se adapte al cilindro cóncavo posterior pasando por las extremidades $M'\,N'$ dibujando sobre la piedra y por medio del lápiz que pase sobre el bisel de la regla, el citado trazo $M'N'$. Así se puede descartar toda la piedra escedente que corresponde á toda la altura $M'\,M''$ hasta obtener el plano definido por el trapecio mixtilíneo $K\,M'\,N'\,O$, plantilla que podremos comprobar con la que podemos sacar de la proyección horizontal y que allí está en verdadera magnitud. Las curvas $I\,P$, $K\,O$ son los límites de la faceta cónica y para labrarla, bastará dividir estas dos curvas en un número de partes iguales uniendo enseguida dos á dos los puntos que obedecen á una misma división, siendo generatrices del cono de faceta las rectas que así resulten y que servirán de guía para desvastar la excedencia de la piedra.

Hácia la parte inferior del retallo uniremos los puntos $G'\,R'$ valiéndonos de otra regla flexible que doblegaremos para que se adapte pasando por dichos puntos, á la superficie cilíndrica convexa, haciendo pasar el lápiz sobre el bisel de la regla y marcando la línea $G'\,R'$, esta curva y las rectas $G'\,H$, $R'\,Q$ determinarán el plano horizontal de retallo que iremos labrando poco á poco con gran cuidado para no rebasar los puntos límites que en él ha de ocupar la plantilla $G'\,H\,Q\,R$; de modo que colocada ya la línea $H\,Q$, esta, auxiliada con la $I\,P$ determinarán la superficie cónica de paramento y para esto no hay más que regularizar la operación del desvaste atendiendo al sistema de generación de la superficie cónica, lo cual se consigue dividiendo estas dos curvas en partes iguales, desvastando enseguida toda la parte delantera hasta que una regla pueda ir uniendo con toda exactitud los puntos *1* con *1'*, *2* con *2'*, *3* con *3'*, etc. cuyas uniones serán las generatrices de la superficie cónica, quedando ésta terminada con un número suficiente de posiciones de aquellas.

ACUERDO CILÍNDRICO OBLICUO

195. Muro cilíndrico oblicuo.—Se llama así, cuando el macizo de cantería está terminado en el paramento anterior con una superficie que es el cilindro oblicuo, estando por la parte posterior terminado generalmente por un cilindro recto. No es aplicable este muro á formar construcción independiente, como por ejemplo una torre aislada, por encontrarse inclinado al horizonte y por lo tanto estar en pugna con las exigencias de la estática. Empléase por lo tanto combinado con la intersección de otros muros ó constituyendo acuerdo, que es el caso que consideramos; construcciones y disposiciones de que se hacía gran uso en la construcción de murallas y recintos fortificados.

En la figura 86 se dá el caso de dos muros de distinto grueso y talud, uno de ellos es en planta $A\,B\,H\,G$ y el otro es $C\,B\,H\,I$, sus trazas horizontales son $A\,B$, $B\,C$ sus líneas de cresta $D\,E$, $F\,E$, sus paramentos posteriores $G\,H$, $I\,H$. Sus respectivas inclinaciones así como alturas de hilada, facetas que evitan el ángulo agudo y demás que establecemos en los muros en talud, está dado por los planos verticales perpendiculares á sus respectivas trazas horizontales cuyas líneas de tierra son $L'\,T'$, $L''\,T''$ alrededor de las cuales se han rebatido las dos secciones rectas la una que es $A\;a\;b\;D'\;G'\;G$ y la otra $C\;a'\;b'''\;F'\;I'\;I$. Queriendo evitar el encuentro de estos muros se va á emplear una superficie cilíndrica oblicua que los una de una manera continua, teniendo por lo tanto tangentes á ella los dos planos en talud. Para facilitar la operación, haremos que la base del cilindro sea circular. Habiendo de ser tangentes los citados planos al cilindro incógnito, sus trazas horizontales han de ser tangentes á la traza horizontal del cilindro y como ésta ha de ser circular, claro está que el centro de esta base ha de ser equidistante de las líneas $A\,B$, $C\,B$ y por lo tanto ha de estar contenido en la bisectriz del ángulo formado por estas dos rectas. La bisectriz es la recta $B\,O$, todos sus puntos tienen la misma propiedad de la equidistan-

cia, todos pues servirían para centros de bases de cilindros tangentes á los planos en cuestión, los cuales tendrían más ó menos extensión según la distancia del punto escogido al vértice *B*. Sea pues escogido el punto *O* que satisfaga á una extensión de superficie cilíndrica capaz para producir el mejor efecto posible y hallarse proporcionada y en armonía con la importancia de los dos muros de que se tratan. Tracemos por el punto *O* las perpendiculares *O p*, *O m* á las trazas horizontales de los dos taludes, es evidente que *O p*=*O m* y con esto trazar desde el centro *O* con el radio *O p* el arco de circumferencia *p x m*, la cual será tangente á dichas trazas y podrá servir de base de la superficie cilíndrica oblicua. Es también evidente, que habiendo de ser tangentes los taludes al cilindro oblicuo, el plano de cresta que es horizontal y paralelo á la base del cilindro, nos habrá de cortar por precisión á éste, según una sección igual á la base, existiendo pues líneas homólogas de una y otra en cada uno de estos planos, luego según esto, será fácil conocer esta sección por la ley de homología. Trácese al efecto por el vértice *H* la *H O'* paralela é igual á la *B O*, y como que *O* era el centro de la circumferencia de la base inferior, *O'* lo será del de la superior, por lo que trazando las *O' q*, *O' n* perpendiculares á las *D E*, *F E* y teniendo en cuenta los puntos *O'*, *q*, *n* podremos trazar desde luego con el radio *q O'* la base *q n* que será exactamente igual á la de la base en virtud de las construcciones que han presidido á su trazado; el cilindro pues está terminado ya que tenemos las dos bases tangentes á las trazas horizontales y las crestas de los muros; siendo por otra parte las generatrices de contacto ó líneas de acuerdo las *p q*, *m n*. La parte posterior de este muro de enlace puede estar formada por una superficie cilíndrica recta, de base la circumferencia *J K* concéntrica á la línea de cresta y tangente á la traza horizontal de los planos de paramento posterior.

Todas las líneas de junta aparentes y continuas que pasan por los puntos de altura *b*, *c*, *d*, *e* sabemos como siempre que son producidas por una serie de secciones de planos horizontales con las superficies de paramento de los muros, así por ejemplo la que pasa por el punto *c* es tal, que el plano horizontal que pasa por dicho punto, corta al primer talud según la línea *c c'* y no puede extenderse más que hasta el punto *c'* situado en la línea de acuerdo, porque allí concluye el plano del talud y empieza el cilindro del acuerdo, viene pues éste á

ser cortado por el mismo plano horizontal y lo hace, según la sección circular *c' c''* igual á las líneas de base, por ser secciones de un cilindro por planos paralelos al plano de dicha base. Lo mismo que antes por la ley de homología, es fácil encontrar su centro y la posición de su radio, pues uniendo *O* con *O'* la línea que así resulte será el eje del cilindro oblicuo en cuya recta existirá el punto centro en cuestión. Trácese pues por el punto *c'* una paralela *c' f* á la *p O* y el punto de intersección *f* con el eje será el centro del arco circular *c' c''*, pero al llegar en *c''* concluye el cilindro y empieza la sección con el otro talud dándonos la línea *c'' c'''*; así pues cada línea de junta se compone de tres partes, dos rectas y una curva circular que las enlaza. Veamos que es lo que sucede ahora con las superficies de junta. Estas como siempre serán planos horizontales de asiento, conducidos á las alturas de los puntos *1*, *2*, *3*, *G'* combinados con las facetas que evitan el ángulo agudo de los paramentos inclinados, de cuya operación no hemos de decir nada más á lo que se refiere á los muros en talud dado el número de veces que hemos indicado esta operación en estos casos, pero no así lo mismo con respecto á la faceta del cilindro oblicuo por presentarse allí una pequeña dificultad. En efecto la normal en el punto *c* en donde concluye el plano de faceta del primer talud es *c'α'* mientras que por la parte opuesta la *c'' α''* es la normal en el punto *c''* en donde concluye la faceta normal al segundo talud; entre estas dos normales precisa pues que esté comprendida la faceta auxiliar que evite el ángulo agudo en la parte del acuerdo y como quiera que las magnitudes lineales *c' α'*, *c'' α''* son bien distintas, la una mucho mayor que la otra, se infiere de aquí que esta condición hija de la misma naturaleza de las cosas, hace que imponga el modo de ser de la nueva superficie de faceta que vamos á introducir. Estas mismas condiciones definen esta superficie del siguiente modo. Está engendrada por una recta que resbala por la línea de junta continua *c' c''* partiendo de la magnitud y posición de *c' α'* cortando al plano de asiento según una curva tal que las partes de esta recta comprendidas entre esta curva y la que le sirve de directriz en el paramento, vayan disminuyendo sucesiva y gradualmente hasta venir á confundirse en magnitud y posición con la *c'' α''* en donde concluye su movimiento.

De aquí se infiere que esta superficie será de las conocidas con el nombre de superficie envolvente y de generatriz

variable y que no será normal teórica á la superficie de paramento, sin embargo podrá considerársela bastante aproximada dentro de los límites de su empleo.

La definición que se ha consignado permite deducir por sí sola el trazado de dicha superficie y para comprender mejor la construcción fijémonos en el detalle (Fig. 86') en que $c' c''$ es la línea de faceta de que se trata, $c' \alpha'$, $c'' \alpha''$ las normales á los puntos extremos en donde concluyen las facetas planas, tómese la magnitud de la proyección $c'' \alpha''$ y colóquese sobre $c' \alpha'$ en $c' \alpha'''$ la diferencia de estas dos normales que resultará ser $\alpha''' \alpha'$ divídase en un cierto número de partes, en cuatro por ejemplo; divídase al mismo tiempo en el mismo número de partes la línea curva $c' c''$, trazando por cada uno de estos últimos puntos de división r, s, t normales á la curva tomando sobre la primera la distancia $r\ m$ igual á $c' \alpha'''$ más tres partes de las cuatro en que se ha dividido $\alpha''' \alpha'$, sobre la segunda la magnitud $s\ n$ igual á $c' \alpha'''$ más dos partes de $\alpha''' \alpha'$ y finalmente en la tercera la cantidad $t\ p$ igual á $c' \alpha'''$ más una cuarta parte de $\alpha''' \alpha'$; la unión de los puntos extremos así obtenidos, nos dará una curva tal como $\alpha'\ m\ n\ p\ \alpha''$ que representará la intersección de la junta de faceta con el plano horizontal de asiento por lo que no habrá más que concebir una recta que vaya resbalando á la vez por las dos curvas $c' c''$, $\alpha' \alpha''$ con la condición de pasar por los puntos dos á dos establecidos del modo indicado en las dos curvas, satisfaciendo esta faceta á la condición de pasar gradualmente en el ancho de la faceta plana del primer muro, disminuyendo sucesivamente en anchura hasta concluir con la $c' \alpha''$ correspondiente al ancho menor de la faceta del segundo muro.

Todas estas operaciones efectuadas en la primera hilada se repetirán ahora en todas las demás.

Antes de pasar adelante conviene unificar todas estas operaciones en un solo plano de proyección vertical cuya línea de tierra sea $L\ T$ por ejemplo, por lo que todo se reduce á un simple cambio de plano vertical pasando de las líneas de tierra $L' T'$, $L'' T''$ á la $L\ T$, así es que la altura total del muro lo expresará el plano horizontal $M N$ igual á la altura $G\ G'$ las hiladas parciales serán las vistas por pertenecer á las facetas, las horizontales $P Q$, $R\ S$, $U\ V$ iguales á las alturas respectivas de los puntos $e\ d\ c$ á la línea de tierra. Los planos de asiento de hilada vendrán expresados por las líneas ocultas próximas á las anteriores á las alturas respectivas de

$\gamma\ \beta\ \alpha$ á la línea $L' T'$ y de una manera análoga la parte correspondiente al retallo. Proyectando los puntos p, q en p', q' y la $m\ n$ en $m' n'$ sobre la altura que les corresponda y uniendo dos á dos estos puntos se tendrán las rectas $p' q'$, $m' n'$ como á proyecciones verticales de las líneas en donde se verifica el acuerdo.

Para el trazado de juntas discontinuas ya sabemos que en los taludes serán las líneas de máxima pendiente, alternadas de hilada en hilada tal como vienen dibujadas en nuestra figura y para el muro cilíndrico oblicuo nos valdremos de planos verticales tal como por ejemplo $t\ v$ cuya traza horizontal sea normal á la curva media $r' r''$ entre las otras dos $c' c''$, $b' b''$ que comprenden el ancho de la hilada; la sección de este plano con el cilindro oblícuo en la parte de la hilada que le corresponde nos dará una curva elíptica que habrá de determinarse por puntos tales como $t\ s'\ v$ cuales proyectados verticalmente en $t''\ s''\ v''$ cada uno en la línea de altura que le corresponda, nos evidenciarán unidos la curva á que antes hemos aludido, en la cual el punto intermedio s'-s'' se encontrará echando mano de una sección intermedia tal como $k\ l$ conducida á la altura de los puntos $r\ r'''$ situados en las secciones rectas de los muros en talud. Las demás juntas discontinuas se determinarán de un modo análogo teniendo empero en cuenta que no vendrán las unas en prolongación de las otras como sucedía en el cono recto, pues aquí determinándose éstas por normales á las secciones intermedias de hilada y estas últimas no siendo concéntricas, se comprende perfectamente que las trazas de los planos verticales han de desviarse cada uno por su lado para acudir á su respectivo centro.

196. Para la averiguación de la verdadera magnitud de las plantillas que constituyen las juntas discontinuas nos ocuparemos solamente de las correspondientes al muro cilíndrico oblicuo; ya que las otras, las de los muros en talud se han estudiado ya en su lección correspondiente.

Escojamos para esto el plano secante $x\ t$, todo quedará reducido á rebatir este plano alrededor de su traza horizontal $x\ u$ hasta que se confunda con el plano de proyección horizontal. En el rebatimiento el punto x que representa una vertical intersección de dicho plano con el cilindro vertical del retallo, se rebatirá en $x\ x'$ igual á la altura $A\ a$, seguirá

á ésta el rebatimiento de $v\ x$ que siendo horizontal lo hará también según una paralela á ella, $v'\ x'$; inmediatamente el plano corta al cilindro oblicuo según la curva proyectada en $t\ s'\ v$ la cual rebatida viene á colocarse en $v'\ r^{IV}\ t'$ siendo las alturas de estos puntos en el rebatimiento, deducidas del plano de proyección vertical; viene luego el corte $u\ t$ con la faceta curva que evita el ángulo agudo y rebatida la sección nos dará una línea muy ligeramente curva rebatida en $t'\ u'$; seguirá luego en el rebatimiento la intersección con el plano de asiento que nos daría la horizontal rebatida partiendo del punto u', luego la vertical de la intersección del plano con la parte posterior de la piedra, cuya parte limitaríamos á la profundidad que se creyera más conveniente, y por último cerraría la plantilla la horizontal que sirve de charnela y en la parte que compete á la plantilla en donde se encuentra.

197. **Labra.**—Escójase un prisma auxiliar (Fig. 86", Lámina 9.ª) teniendo por bases el contorno aparente de la piedra en el plano horizontal, y por altura la de la hilada; así obtendremos una primera forma cual si se tratara de un muro cilíndrico recto que será *1-2-3-4*, *h-k-a-f*. La piedra que se escoge en proyección está expresada por todo lo rayado de la parte vista.

En las caras laterales de este prisma colóquense las plantillas $a\ a'\ b\ c\ d\ e\ f$, $k\ m\ n\ o\ p\ g\ h$ las cuales se habrán encontrado conforme sabemos, rebatiendo los planos verticales de junta $\mu\ \omega$, $\mu'\ \omega'$. Sobre la base superior y pasando por los puntos c, o colóquese una cercha cortada según la curva horizontal $\omega\ \omega'$, con esa curva vendrán también colocados todos los puntos análogos á los de la (Fig. 86') tales como c', r, s, t, c'' por los cuales pasan las generatrices de la faceta; descártese luego la parte superior de piedra que alcance la altura *3* e hasta obtener un plano horizontal $e\ g\ p\ d$ que limitaremos con la plantilla de la proyección horizontal. Una vez colocada ésta, se tendrá la línea $d\ p$ y sobre ella señalados los puntos que indica la figura 86' en m', n, p,.... etc. y entonces con el auxilio de estos puntos y con los antedichos sobre la curva $c\ o$, podremos desvastando la piedra excedente, trabajar la faceta curva de modo que sus generatrices pasen dos á dos por los puntos pareados correspondientes. Hacia la parte anterior del cilindro se colocará una regla flexible que se adapte en la parte convexa del mismo, pasando por los puntos $a'\ m$ y dibujando el trazo indicado por estas letras,

entonces el plano horizontal del retallo estará definido por las líneas $b\ a'$, $a'\ m$, $m\ n$, desvastando hasta obtener dicho plano, en cuyo caso sobre él, colocaremos la plantilla $b\ a'\ m\ n$ deducida de la proyección horizontal $\mu\ \mu'\ \theta\ \theta'$. Queda por último el labrado de la superficie cilíndrica oblicua que podemos ya realizar obtenidas las líneas del perímetro que lo cierran tal como $b\ c\ o\ n$ y á este efecto una serie de generatrices nos bastarán para dirigir el movimiento del desvaste. Estas generatrices colocadas en proyección horizontal estarán expresadas por *1'-1"*, *2'-2"*, *3'-3"*, etc. las cuales cortarán cada una, á dos de las líneas del perímetro, estos puntos se señalarán con cuidado en todas estas líneas, las cuales al trasladarse á la piedra con sus cerchas y plantillas nos indicarán allí los puntos de marca que empleándolos dos á dos podremos hacer pasar por ellos durante el desvaste, una regla, la que en todas sus posiciones guardará direcciones paralelas y su conjunto ó lugar geométrico nos dará la superficie definitiva.

ACUERDO DE UN MURO RECTO
CON UN MURO EN TALUD, POR MEDIO DE UN CONO OBLICUO

198. (Lám. 10, Fig. 87). Las trazas horizontales del muro recto son las expresadas por $J\ K$, $V\ A$, mientras que el muro en talud, tiene su traza horizontal en $B\ C$, su línea de cresta en $D\ q$, y su plano vertical posterior expresado por su traza horizontal $G\ F$. La altura de los dos muros la expresa el plano horizontal $P\ Q$. El plano de proyección vertical auxiliar $L'\ T'$ nos indica la sección recta del muro en talud $C\ a\ b\ D'\ G'\ G$. Para poder acordar el paramento inclinado del talud con el vertical del muro recto nos valdremos de una superficie auxiliar intermedia tangente á ambos planos y de la clase de los conos oblicuos. Habiendo de ser esta superficie tangente á estos dos paramentos, se inferirá de aquí que su base situada sobre el plano horizontal será por precisión tangente á las trazas horizontales de los referidos paramentos; luego todo estriba en encontrar los puntos p, V, en donde se verifique la tangencia; y esto lo conseguiremos fácilmente, trazando la bisectriz $B\ O$ del ángulo $C\ B\ A$ y escogiendo sobre ella un punto tal como O, en sitio conveniente para que las operaciones salgan despejadas. Si ahora por el punto O, trazamos las perpendiculares $O\ p$, $O\ V$ á las

respectivas trazas horizontales de los paramentos será evidente que $O\,p = O\,V$ y que así con el radio $O\,p$ se podrá trazar el arco de circunferencia $p\,V$ y ésta será la base de la superficie, cónica oblicua del acuerdo. Con una simple consideración que hagamos, quedará definida por completo dicha superficie, en efecto suponiendo que el punto V representa una línea vertical $V'\,V''$ contenida en el paramento anterior del cono recto, es evidente que á lo largo de esta línea existirá el acuerdo del muro recto con el cono por ser dicha recta $V'\,V''$ la generatriz de contacto del plano vertical del paramento á que aludimos con la superficie del cono y todo quedará reducido á determinar el vértice pues éste por su naturaleza ha de depender del plano inclinado del talud del otro muro quien ha de contenerlo también; y esto dicho queda ya determinada la generatriz de contacto del plano en talud con el cono de que se trata, con solo unir el punto p con el punto V, que representa la proyección horizontal del vértice V del cono por tener que estar situado en la vertical $V'\,V''$ cuyos puntos así como todos sus intermedios y situados en la prolongación de esta recta, se proyectarán en uno solo en el plano horizontal, no eximiéndose de esta regla el mismo vértice del cono. Así pues de la recta $p\,V$ la parte $p\,q$ determinará extrictamente la parte útil de esta generatriz de contacto, en donde concluye el plano en talud y en donde empieza el paramento del cono oblicuo, y esta línea $p\,q$ para la debida comprensión de lo que va á seguir, la proyectaremos verticalmente en $p'\,q'$.

De esto se infiere que el cono oblicuo del acuerdo viene proyectado horizontalmente en $p\ M\ V\ p$ y verticalmente según el trapecio $p'\ V'\ V''\ q'$.

199. Despiezo.—Las líneas de junta continua vendrán dadas por la intersección de los muros con una serie de planos horizontales conducidos por los puntos de altura señalados en la sección del talud por c, d, e. Así el plano horizontal que pasa por el punto d nos cortará al talud según la recta $d\,d'$ y al llegar al punto d', empezará cortando al cono según la sección circular $d'\,V$, para seguir cortando desde el punto V al muro recto según la horizontal $V\,A$. Estas tres líneas están proyectadas confundidas en una sola línea recta $d''\,d'''$ en el plano vertical, toda vez que se confunden con la traza vertical del plano horizontal que contiene. El arco circular

$d'\,V$ se obtiene fácilmente teniendo en cuenta que siendo la sección de un cono con un plano paralelo á su base ha de ser forzosamente semejante á la forma de dicha base por lo que, todas las líneas correspondientes de las de sección y base serán homólogas y en su virtud, trazando por el punto v' la recta $d'\,h$ paralela al radio $p\,O$ de la base circular el punto h en que dicha paralela corte al eje oblicuo $O\,V$ será el centro de la línea circular de junta á que nos referimos. Repitiendo estas construcciones podremos ultimar todas las demás líneas de junta á las distintas alturas representadas en el plano de proyección vertical.

Observaremos aquí la particularidad de que todas estas líneas de junta circulares vienen proyectadas horizontalmente de modo á concurrir todas en el punto V, propiedad que ya de antemano podíamos colegir en atención á que todas estas líneas, cortando en distintos puntos á la generatriz vertical $V'\,V''$ del cono, que es en donde se verifica el acuerdo con el muro recto, todos estos puntos se proyectarán forzosamente en la proyección horizontal de dicha recta, que aquí es el punto V, por ser aquella, perpendicular al plano horizontal.

Obtenidas ya estas líneas podremos pasar directamente á las superficies de junta valiéndonos de planos horizontales que pasan por las alturas que nos indican los puntos *1*, *2*, *3*, los cuales interesarán no más al muro en talud y á una parte del cono oblicuo; toda vez que para el muro recto y lo restante del cono oblicuo, se emplearán los planos horizontales conducidos por las alturas de los puntos c, d, e cuyas trazas en nuestro plano vertical son las $c''\,c'''$, $d''\,d'''$, $e''\,e'''$, existiendo según esto un resalto en el interior del muro debido á la diferencia de altura de las dos series de planos horizontales de asiento.

Este resalto es debido á los ángulos agudos que se tienen que evitar en el muro en talud y en su parte adjunta al cono oblicuo. Se evitarán pues estos ángulos según se ha visto en los casos anteriores, valiéndonos de los planos auxiliares $c\,\alpha$, $d\,\beta$, $e\,\gamma$, hasta cortar á los primeros planos de asiento antedichos y lo harán según las rectas proyectadas verticalmente en α, β, γ y en proyección horizontal por $\alpha\,\alpha'$, $\beta\,\beta'$, $\gamma\,\gamma'$. Con respecto al cono, estas facetas que evitan el ángulo agudo, se dispondrán del mismo modo como se indicó en el muro cilíndrico oblicuo trazando al efecto y según aquellas cons-

trucciones, las líneas curvas y ocultas que parten de los puntos α', β', γ' y concluyen en este caso particular en el punto *V*. Así nos darán unas facetas proyectadas horizontalmente en los triángulos mixtilíneos $c'\ \alpha'\ V$, $d'\ \beta'\ V$, $e'\ \gamma'\ V$; según vemos estas facetas serían de una forma especial pues empezando una de ellas por ejemplo en la recta $c'\ \alpha'$ que es su ancho máximo, por partir de ella también la que evita el ángulo agudo con el talud, concluye con la pequeña vertical levantada en el punto *V*, en la separación de los dos planos de asiento de una misma hilada; y como esto produciría, de concluir la junta así, aristas sumamente vivas en estas facetas al empezar el acuerdo con el muro recto; de aquí se infiere la conveniencia de terminar estas facetas á alguna distancia antes del punto *V*. La terminación nos la dará en los sitios que creamos más convenientes el trazado de juntas discontinuas, hecho el convenio para cada una de las hiladas del sitio en donde se desee la indicada terminación.

Excusado es decir, que el ángulo agudo que forma el talud con el plano horizontal, se evitará como en los demás casos por medio del resalto *C a b* el cual con respecto á lo que se refiera en el cono oblicuo, afectará también (insiguiendo la misma ley que hemos indicado también en las líneas de junta) la forma triangular mixtilínea formada por la horizontal $p\ b'$ y las dos curvas que partiendo de p y b' concluyen en el mismo punto *V*.

Las juntas discontinuas se dispondrán por medio de planos verticales que sean respectivamente perpendiculares á las secciones medias del cono, entre dos hiladas consecutivas. De modo que en cada hilada de por sí, las trazas horizontales de los planos verticales que sirven de juntas discontinuas, concurrirán precisamente en uno de los puntos del eje del cono expresado en *O V*.

La obtención de una plantilla de junta discontinua se presenta muy fácil, pues si se considera la que está contenida en el plano vertical que pasa por *x u* se podrá rebatir en el plano horizontal tomando á la *x u* como á charnela, viniendo definitivamente á rebatirse según la figura $x\ x'\ v'\ s'\ t'\ u'$, luego la horizontal que pasa por u' y paralela á *x u*, hasta cerrar la figura con la vertical posterior que indique el límite de la piedra. Nótese que la línea curva $x'\ s'\ t'$, $x''\ s''\ t''$ ha de ser una rama de parábola, lo propio que todas las demás curvas análogas á ésta, en atención á ser producidas por

una serie de planos verticales y por lo tanto paralelos á la generatriz del cono proyectada en el punto *V*.

200. Labra.—Demos por supuesto que nos proponemos labrar la piedra expresada por la parte subrayada, tanto en el plano de proyección horizontal como en el vertical, designada además en el primero por la letra *M*.

Escójase un prisma recto cuyas bases sean la máxima proyección horizontal de la piedra cuya altura sea la de la hilada. Este vendrá expresado en *4-2-1-a-m-3-h-2* (Fig. 87'). Sobre sus caras laterales se colocarán inmediatamente las dos plantillas de juntas discontinuas *4-a-a'-b-c-d-e*, *m-l-k-l-h* obtenidas conforme hemos indicado anteriormente; guiándonos luego con los puntos *c*, *i* podremos colocar con facilidad sobre la base superior la curva *c n i* deducida de la línea de junta de paramento que tenemos en verdadera magnitud en el plano horizontal, deduciéndola de allí valiéndonos de una cercha. Más como hemos indicado anteriormente las razones para no prolongar la faceta que evita el ángulo agudo en el cono, hasta llegar á alcanzar el acuerdo con el muro recto; de aquí es que si hacemos la suposición que sea el punto *n* en donde aquella faceta quede terminada se inferirá que el cuadrilátero horizontal *n g h i* será el plano de asiento del muro recto y que el plano vertical *g f o n* representará el resalto ó diferencia de nivel entre los planos de asiento del muro cónico y del muro recto.

Por lo tanto, sobre el plano horizontal que se labrará limitándolo en *d e f o* que será la plantilla deducida en su verdadera magnitud en el plano horizontal, tendremos demarcada la línea *d o* de faceta. Ya las curvas *d o*, *c n* serán suficientes para dirigir el movimiento de la generatriz que va á engendrar la faceta inclinada que evita el ángulo agudo en el cono oblicuo, puesto que los puntos indicadores en donde las generatrices de dicha faceta cortan á las referidas directrices, serán trasladados dos á dos en la Fig. 87' y por ellos pasarán las generatrices al llevar á cabo el desvaste en el resalto superior. Esta faceta concluirá en *o n* en donde encuentra el plano vertical del resalto.

En cuanto al retallo exterior $b\ a'\ l\ k$ se definirá colocando el punto límite de la plantilla $b\ a'\ l\ k$ deducido de la proyección horizontal y colocándolo en el plano horizontal, que se labra con mucho cuidado para no traspasar el límite *b k* en donde empieza la superficie cónica oblicua.

Finalmente resta tan solo el labrado del paramento del cono; y esto se conseguirá con el auxilio de una serie de generatrices dispuestas en la Fig. 87'. Quedará reducida esta operación á unir el punto *V* de la Fig. 87 con varios puntos de la base del cono y aprovechar de estas rectas las partes comprendidas entre las curvas, líneas de junta; disponiendo así para cada generatriz, de dos puntos extremos que la fijan y son aquellos producidos por el encuentro de cada generatriz con dichas líneas de junta. Al trasladarse las plantillas sobre la piedra en la Fig 87', se trasladan también con ella los puntos de marca pareados, *x x'*, *z-z'*, *y-y'*, *v-v'*, etc. y entonces bastará proceder al desvaste hasta que la regla generadora vaya sucesivamente pasando por cada dos de dichos puntos.

201. Observaciones sobre las juntas discontinuas para los muros terminados por paramentos alabeados; cilíndricos y cónicos oblicuos.—En toda esta clase de muros se ha podido observar que se empleaban para juntas discontinuas planos verticales; normales sus trazas horizontales á las curvas medias entre las dos líneas de hilada relacionadas con respecto al plano de proyección horizontal. Esta clase de juntas si bien vienen á cumplir las condiciones de facilidad á la vez que montura del aparejo y son las que en general se emplean en la práctica; no cumplen sin embargo con las exigencias de normalidad teórica pues aunque de ser verticales satisfagan al requisito de ser particulares á las juntas continuas ó lechos, en cambio no son normales á las caras de paramento.

Si quisiéramos dar cumplimiento á esta condición, podríamos recurrir á juntas cilíndricas verticales tal como demuestra la figura 88, lámina 10, en la cual los círculos de trazo lleno significan las líneas de junta continuas vistas en el muro de paramento curvo, de la clase que antes hemos indicado, por ejemplo un cilindro oblicuo cuyo eje puede estar representado en proyección horizontal en *O O'*. Las líneas de trazo *a b*, *c d*, *e f*, *g h*, representan las secciones circulares intermedias entre dos hiladas consecutivas; Si partimos ahora de un punto tal como *m* no hay duda que la normal en este punto se proyectará según la recta *m 1* que concurre al centro *1* de la curva y de ella podemos aprovechar no más el trecho *A B*, uniendo ahora el punto *B* con el centro *2* de la segunda curva media *c d*, la recta que así obtengamos representará la proyección de la normal á esta curva en el punto *n* aprovechándose de ella el trecho *B C*, uniendo *C* con el centro 3 de la tercera curva media, la recta que así resulte será la proyección de la normal á la superficie en el punto *p* y de ella aprovecharemos tan solo el trecho *C D*, etc., y así iríamos construyendo elementos que unidos nos darían la curva *A B C D E*, etc. que como vemos cortaría en ángulo recto á todas las secciones intermedias de la superficie. Si consideramos ahora el cilindro vertical que proyecta horizontalmente esta curva se puede observar fácilmente que todas las normales á la superficie tales como *m 1*, *n 2*, *p 3*, etc. son tangentes á esta superficie cilíndrica y por lo tanto ésta cumple con las condiciones que se imponen á la junta discontinua pues es perpendicular á la continua por ser vertical y lo es á la superficie de paramento por ser tangente á las normales en cada uno de sus puntos.



CAPITULO SEPTIMO

COLOCACIÓN, RETOQUE Y RECTIFICACIÓN EN TODA CLASE DE MUROS

202. Muros rectos.—Ante todo es preciso efectuar los trabajos necesarios para la preparación del terreno en donde va á sentarse la masa, ya construyendo el cimiento así como el arreglo definitivo de su parte superior de manera que se presente bien nivelada, extendiendo luego una capa de mortero en todo el sitio de emplazamiento y de un grueso suficiente para que sobre la misma pueda demarcarse con la mayor facilidad las trazas horizontales de las caras ó paramentos de los muros pues así, estas líneas colocadas servirán de base para dirigir los trabajos de colocación de las hiladas superiores. Dado caso que sean varios los muros que combinándose entre sí; se corten de una manera cualquiera, entonces la operación antedicha se hace á un tiempo, esto es, para todos á la vez para que el asiento, cuando éste tenga lugar, resulte uniforme. Para que esta colocación de hiladas sea lo más acertada posible, se empiezan colocando las piedras extremas ó situadas en los ángulos, en donde se verifiquen los cambios de dirección cuando hay esquinas, por combinarse entonces varios muros de distintas maneras; cuidando sí, que sus paramentos coincidan con las trazas horizontales de los muros, verificando los acuerdos, dado caso que existan, con los paramentos adyacentes quizá ya construídos.

Vista que sea ya la situación de estas piezas extremas que van á servir para la dirección de las demás, se las asienta sobre un buen baño de mortero, cuyo espesor varía según la índole de la construcción, golpeando luego estas piedras con el martillo, cuya operación hará rebasar en parte el mortero, establecer un lecho uniforme y con la suficiente cohesión para que el material pueda fraguar con uniformidad y evitar así toda diferencia de asiento. Hecho esto, conviene hacer distintas pruebas para asegurarse bien que el plano de asiento superior de la piedra, esté bien horizontal para así poder recibir en las verdaderas condiciones de estabilidad las piedras superiores.

Colocadas definitivamente estas piedras de ángulo, tiéndese de una á otra un cordel bien tirante, el cual nos indicará la posición de las piezas intermedias sirviendo por lo tanto de guía para las trazas horizontales de los paramentos de cada una de ellas.

Más como quiera que, si por un descuido ó combinación cualquiera, pasara desapercibida la falta de coincidencia de las dos caras de las piezas con el paramento del muro, entonces en lugar de extender el cordel partiendo de estas dos piedras, se tiende sobre dos reglas fijas una á cada extremidad del muro, de modo que las aristas que se tomen en consideración en las dos reglas empleadas, se encuentren, no en el mismo paramento del muro, pero sí, en un plano paralelo á una distancia tal que entre la regla y la cara de dicho muro medie un poco más que el cordel á fin de que éste no toque al muro y no pueda quedar desvirtuado en su dirección. Adviértase que conviene fijar de una manera muy asegurada las dos citadas reglas á fin de que la mucha tensión del cordel no altere la resistencia y verticalidad de las mismas. Si la longitud del muro permite servirse de una regla en sustitución del cordel, entonces es preferible el sistema, pues que bastará hacer resbalar dicha regla como generatriz sobre las otras dos extremas que servirán de directrices.

Aun admitiendo que sea muy extensa la superficie del paramento del muro, también podríamos valernos del sistema de la regla generatriz; colocando al efecto varias reglas intermedias, y este sistema es precisamente el preferible cuando se trate de muros ó paramentos en talud y alabeados, por motivo de que un cordel de mucha longitud, viene siempre con tendencia á formar ligeramente catenaria en virtud de su propio peso.

Retoque y rectificación.—Procédase ante todo á comprobar la superficie plana del muro en su cara vertical, echando mano á distintos trechos de reglas bien largas examinando si coinciden en distintas posiciones y en toda su longitud con el paramento del muro. Si esto no sucede, se anotarán con una serie de señales los puntos ó inmediaciones de ellos que afecten ligeras protuberancias ó hendiduras para tenerlos en cuenta especialmente cuando llegue la operación del repicado y rectificación. Esta se efectuará del modo siguiente: se fijarán dos puntos de marca, uno en cada extremidad del muro, y los dos en la parte inferior ó superior y de modo que el plano vertical que pase por ellos pueda alcanzar lo más rehundido de las señales que antes se habían encontrado al verificar el ensayo general. Tírense luego dos plomadas, cada una delante de los dos puntos de marca antedichos, encontrándose empero colocadas de tal modo que no toquen al paramento del muro, del cual se encontrarán á muy pequeña distancia y ésta será tal que permita que puedan fijarse con el auxilio de dos pequeños clavos empotrados en el paramento conservando siempre la verticalidad. Se comprende fácilmente que estas dos verticales nos suministran un plano vertical auxiliar, paralelo al verdadero paramento, el que podemos trazar ya desde luego conocida que tengamos esta separación; esto nos hará comprender que dichas dos plomadas han de ser completamente fijas, tirantes é inamovibles, razón por lo cual las fijaremos también por la parte inferior valiéndonos de clavos de la misma volada y condiciones que los empleados en la parte más alta. Esto hecho, córtese un trozo de madera en forma de ángulo recto y de tal modo que tenga una distancia *a b* (Fig. α, Lám. 10) que sea igual á la distancia comprendida entre la plomada y el fondo de la primitiva señal con más el grueso del cordel y unas muy pequeñas creces. Si ahora echamos mano de este sencillísimo instrumento coloncándolo sobre estas dos plomadas verticales en posiciones sucesivas de dos metros de distancia por ejemplo, y de tal modo que no lleguen á tocar dichas verticales, por no moverlas (pues de su perfecto reposo depende la exactitud de la operación), entonces la rama *a b* en sus distintas posiciones siempre perfectamente horizontal, nos indicará su extremo en contacto del muro lo que hay que retocar éste para que dicha distancia *a b* quede del todo en situación para ser alojada en su justo

límite, obedeciendo así siempre á la equidistancia de arriba á abajo.

De este modo operando, habremos colocado en las extremidades del muro una serie de señales que unidas por un trazo continuo por medio del cincel que abrirá entre ellas un pequeño canal constituyendo así dos ranuras verticales, una para cada lado del muro; las verticales situadas en el fondo de estas ranuras, podrán servir de directrices del verdadero paramento. Escójanse ahora puntos pareados, uno en una de estas ranuras y otro en la otra, de suerte que dos á dos estén en una misma línea horizontal, hecho esto, fíjense en ellos dos clavos de igual magnitud, de igual volada á los cuales se les sujetará un hilo bien tirante que será horizontal y equidistante del paramento del muro, tomando pues la regla de la figura α repitiendo el sondeo en bastantes posiciones hasta alcanzar en sus distancias los verdaderos puntos de paramento, iranse señalando una serie de puntos de marca que los irá uniendo el cincel formando una ranura horizontal.

Así podemos reproducir esta operación tantas veces como queramos, obteniendo en definitiva una serie de líneas horizontales y verticales en forma de cuadrícula indicándonos perfectamente así las generatrices y directrices del plano, así como toda la pequeña escedencia que se ha de descargar, refinando y retocando á trechos y con la detención debida, para llegar á obtener una verdadera superficie plana vertical.

En lugar de emplear los cordeles horizontales antes indicados pueden ellos sustituirse, como lo hacen nuestros obreros, por plomadas sujetas entre bastidores de madera (llamadas por los prácticos, **taula ploms**) pero en este caso es preciso por quien haga la operación ser bastante experto y habilitoso para el enrase de las visuales.

Para llevarla á cabo, es necesario tres individuos; uno que fija el aparato de la plomada perpendicular al paramento y encajando en la ranura de un extremo, otro, que será el que dirija la operación, se situará en el otro extremo colocando el aparato en iguales condiciones y el tercero intermedio entre los dos colocando el aparato en la disposición que le indique, el segundo á medida que vaya comprobando la superposición de las tres plomadas, pues cuando queden confundidas en una sola entonces el canto de la tercera nos dará una vertical situada en el mismo plano de las dos extremas.

203. Muros en talud.—Colocación. La colocación de esta clase de muros, difiere solamente durante el curso de las operaciones, para con respecto á los muros rectos, en el modo especial de colocar las reglas directrices, puesto que aquí han de hacerse coincidir con las líneas de máxima pendiente del talud; las demás precauciones al objeto de nivelar los lechos son exactamente iguales. También se tendrá mucho cuidado de nivelar la arista saliente de la faceta que corta el ángulo agudo con el talud; así como de repasar con toda pulcritud el plano de la misma.

204. Retoque.—Aquí el plano ideal auxiliar para el retoque, será inclinado como el del talud, por tener de ser precisamente equidistante del mismo.

Márquense dos señales en los puntos extremos y en la parte baja del muro; levántense sobre ellas dos plomadas, hasta alcanzar la misma altura de la cresta del muro, ó toda otra línea horizontal situada en el paramento. Todo quedará ahora reducido á dibujar otras señales en la parte superior del muro, y que sean tales que la perpendicular trazada de cada uno de ellos á su respectiva vertical que tenga enfrente sea precisamente igual al desvío en esta altura de la línea de máxima pendiente de la mencionada vertical, cuyo dato lo dará el ángulo que ya conocemos de antemano, pues verdaderamente, aquella distancia no será otra cosa que el cateto de un triángulo rectángulo, en que el otro cateto sea la altura del muro ó la de la vertical trazada. Obtenidos estos dos puntos de marca se fijan en ellos dos clavos ó agujas de hierro de igual tamaño y volada con respecto á los fondos de las líneas de marca; tiéndese en ellos un cordel bien tirante y paralelo al muro, y éste nos servirá para colocar á las distancias que escojamos, el calibrador, proporcionándonos puntos de marca intermedios; únanse todos por medio de una regla, abriendo una pequeña ranura en sentido de la línea de máxima pendiente. Ya en posesión de estas dos ranuras extremas, resta como el caso anterior á demarcar una serie de líneas horizontales en el paramento, obrando como en el caso anterior, hasta ultimar toda la operación.

205. Muros cilíndricos rectos.—Colocación. Se empieza demarcando las trazas horizontales de dichas superficies; sobre el lecho bien preparado horizontal de la cara superior del cimiento, y esto con la mayor exactitud. Escójanse á voluntad los puntos que se quieran en esta curva, y ellos serán los pies de otras tantas reglas directrices que deberán coincidir, con las generatrices de las caras del muro que se levantan sobre dichos puntos.

Córtanse luego tomando como á patrón esta curva de base, una serie de cerchas que vayan de una á otra generatriz terminadas todas ellas en bisel para que así salga más fina la línea. Cada una de estas cerchas, corriéndolas de arriba á bajo en el trecho que media entre cada dos generatrices que esté comprendida, nos indicará la verdadera posición de los paramentos curvos de las piedras. Se comprende que si la base fuese circular una sola cercha bastaría; por ser entonces uniforme la curvatura, pero de no ser así es indispensable que cada sección ó trecho mentado, lleve consigo su cercha especial.

Al mover cada cercha, se ha de llevar mucho cuidado de que no se mueva en el sentido de su longitud y para impedir este movimiento se coloca en un extremo un simple tope que impida dicho movimiento; esta precaución se entiende que se tendrá en cuenta no siendo circular la línea de base; pues si lo fuera podríase sin dificultad prescindir de dicho tope.

206. Retoque.—Al señalar las trazas de los paramentos del muro, ya se había tenido en cuenta de indicar una serie de puntos en los mismos, en la primera hilada y próximos al plan terreno; estos puntos indicadores por su índole especial son los que se aproximan en su unión con más verdad á la forma de las curvas de base y por lo tanto se pueden tomar como á origen de operaciones de comprobación.

Levántense sobre ellos una serie de cordeles verticales los que se fijarán superior é inferiormente, hasta mantenerlos bien rígidos; valiéndose luego del calibrador, se irán señalando en dirección de lo largo de cada cordel una serie de puntos de marca que unidos con cuidado por medio del cincel, concluirán por darnos repitiendo así la operación, una serie de ranuras verticales, que no serán más que verdaderas generatrices de la superficie. Empleando luego las cerchas que hemos referido al hablar de la colocación, insiguiendo el movimiento allí expresado, llegaremos á señalar una serie de curvas horizontales (secciones rectas de los cilindros de paramento) que serán objeto de otras tantas ranuras. Estas

unidas á las verticales encontradas, nos mostrarán ya con toda evidencia los trechos que hay que ir descargando levemente para obtener rectificados los paramentos.

207. Muros cilíndricos oblicuos.—Colocación. Se opera con estos muros lo mismo que en los cilíndricos rectos, pero inclinando las reglas directrices de manera que cada una coincida con una generatriz de la superficie. Para que esto pueda tener efecto, se traza sobre la capa horizontal del plan terreno, y que convenientemente ya estará preparada según hemos indicado en otro lugar las proyecciones horizontales de estas generatrices, imaginando luego los planos verticales proyectantes, en ellos será en donde se coloquen las reglas directrices, elevándose sobre las proyecciones antedichas, insiguiendo los mismos requisitos que indicamos en el muro en talud. En cuanto al ángulo que forman las generatrices con el plano horizontal, se sabe de antemano, pues es uno de tantos elementos del dato.

208. Repicado.—Para esta operación servirán las mismas construcciones que anteriormente se han hecho para la colocación; así se habrá tenido mucho cuidado en conservar todos los puntos de marca de donde partían las reglas directrices, que también habrán así de colocarse de trecho en trecho, para luego con su auxilio y la regla calibradora pasar á la marca de una serie de señales que luego unidas con el cincel proporcionarán una serie de pequeñas ranuras en la dirección de las generatrices del cilindro. Estas ya situadas, servirán de directrices á las distintas cerchas cortadas según la base ó traza del cilindro, conservándose en todas sus posiciones horizontal, indicando en cada hilada sucesiva una serie de ranuras ligeramente cilíndricas. Finalmente con una regla que se moverá paralelamente á las directrices apoyándose sobre los puntos de más profundidad de dos ranuras horizontales, irá guiando al obrero sobre lo que haya de rectificar.

209. Muros cónicos.—Colocación. Ya sea el cono recto ú oblicuo, se demarcará sobre el plano superior del cimiento ya preparado la curva que represente su base ó traza horizontal, y sobre ésta se marcaran una serie de puntos por

los cuales se harán pasar las reglas directrices; cuya disposición se habrá ya dibujado en la figura de estudio ó de proyecciones, deduciendo precisamente de ella, cada uno de los ángulos que ellas forman con el plano horizontal, fijándolas en el espacio luego con el auxilio de este elemento. En seguida para cada hilada del muro, se cortará una cercha especial, comprendida entre dos posiciones de la regla directriz, haciendo presente no más que en el caso en que la traza del cono no sea circular; será preciso para cada hilada en particular tantas cerchas diferentes como espacios existan comprendidos entre dos reglas directrices. (Estas cerchas han de estar situadas bien horizontales).

En cuanto á la manera de construir estas cerchas, todo quedará reducido á deducirlas del plano de montea, pues allí ya se habrán señalado las proyecciones horizontales de las generatrices según las posiciones que ocupen por los puntos de marca fijados al natural; y los trechos de secciones horizontales comprendidos entre dos generatrices en que se haya fijado la atención, serán la verdadera magnitud de las curvas del patrón.

210. Repicado.—Se efectúa del mismo modo que los muros cilíndricos oblicuos con solo la única diferencia que las cerchas que median de una á otra ranura directriz, cambian de tamaño y curvatura al pasar de una á otra hilada, según hemos visto en la colocación.

211. Muros alabeados.—Colocación. Se fijarán las reglas directrices de modo á hacerlas coincidir con las mismas directrices de la superficie alabeada, y en el caso en que existiera mucha separación entre las directrices, podríase encontrar otras posiciones intermedias recurriendo al plano de montea ó dibujo en proyecciones. Aquí la cercha es rectilínea. Lo que se ha dicho con respecto á las operaciones en los demás muros hará comprender las pertinentes en este caso.

212. Repicado.—Lo mismo que se ha dicho en los casos anteriores es aplicable aquí; esto es, se conservarán las reglas directrices así como sus intermedias en el lugar que les corresponda; ó cuando menos se habrán marcado de antemano, puntos de marca en bastante número para que sea fá-

cil encontrar aquellas posiciones. A lo largo de cada una de las mismas se procederá á señalar una ranura, valiéndonos como siempre del calibrador y así estas ranuras estarán dirigidas en el sentido de las generatrices del muro. En cuanto á las líneas de marca horizontales podrán obtenerse con facilidad con el auxilio del instrumento calibrador por el cual se podrán trazar visuales tanteando hasta obtener finalmente la posición. Aquí la cercha es rectilínea.

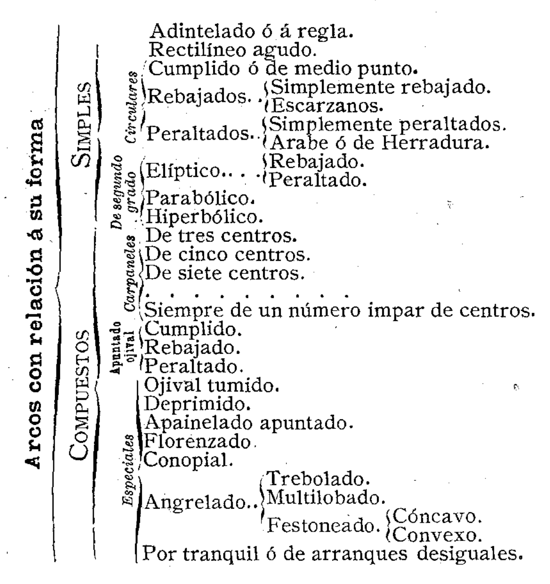


CAPITULO OCTAVO

ARCOS

213. Toma el nombre de arco la parte de cantería que se emplea para cerrar las partes superiores de los huecos ya en muros ya en bóvedas; siendo poca la profundidad de dichos huecos. Por medio de los arcos se terminan por su parte superior, las puertas y ventanas. También se emplean muchas veces para sostener especiales construcciones.

Clasificación de los arcos según su forma



Con relación á sus funciones:

- Toral.
- Formero.
- De crucería.
- Braguetón. Tercelete.
- Cadena.
- Botarel
- De descarga.
- Ataluzado de contrarresto.
- Arco botante.
- Trasdosado.
- Reverso.

214. Arco adintelado.—Está terminado el hueco, por medio de este elemento, con una línea recta de nivel *A B* (Figura 89, Lám. 10). Constituye pues su intradós un plano horizontal. Verdaderamente el dintel de una sola pieza no teniendo la forma arqueada, deja de ser arco, pero si se le sustituye por varias piezas formando dovelage, entonces como las líneas de junta han de concurrir á un centro común, únicamente en este caso puede considerársele á pesar de conservar la línea recta, como un arco de flecha nula y de radio infinito y bajo este punto de vista tratado; obedece el despiezo del sistema de cortes falsos, que más adelante se verán, cuyas juntas paralelas concurren al infinito.

Ya Fr. Lorenzo de San Nicolás decía en su tratado de Arquitectura "*Fuera de estos arcos hay otro que llaman adintelado más como no tiene vuelta, es la causa por que no le doy el nombre de arco*".

El dintel de una sola pieza era empleado desde la antigüedad más remota, pero considerado como arco, esto es, con dovelas solo principió su aplicación en la época del estilo Ojival (81.) pues si bien en alguno que otro caso lo aparejaron así los romanos, era en vanos poco considerables no excediendo de tres el número de dovelas.

215. Arco rectilíneo apuntado.—Está formado por los dos lados (Fig. 90) de un triángulo *A B C* equilátero ó isósceles, cuyo vértice *C* es el punto culminante ó remate del arco.

Formado con solas dos piezas inclinadas lo vemos empleado en la antigüedad en la puerta de Alea (35) y en otros varios casos, pero considerándolo aparejado, no se presentó hasta el último período del estilo románico en donde aparece las más de las veces encuadrado en un semicírculo. Es también característico de la arquitectura Anglo Sajona.

216. Arco circular.—Está formado por un arco de circunferencia que puede tener distintas longitudes y según sean éstas, así será aquél; así hay:

(*a*). **Arco de medio punto.**—Cuando es una semicircunferencia completa como en la (Fig. 91) ó llamando luz al ancho *A B* del vano y montea la altura *O C* del punto más alto *C* á la línea de arranque *A B*, diremos que será de medio punto cuando la montea sea igual á la semiluz.

(*b*). **Arco rebajado.**—Es en el caso (Fig. 92) que la montea *C D* sea menor que la semiluz. El arco rebajado toma el nombre especial de *Escarzano* cuando corresponde á un ángulo de 60 grados. En todos casos el arco rebajado es menor que una semicircunferencia.

(*c*). **Arco árabe ó de Herradura.**—Entonces la montea (Figura 93) es mayor que la semiluz, el arco es mayor que una semicircunferencia, llamándose también con el nombre de peraltado. El peralte lleva pues consigo la condición de que exceda la montea *C D* á la semiluz *A D* y bajo este concepto existe del mismo modo el **Arco simplemente peraltado** (Figura 94) cuando está formado de una semicircunferencia tangente á las dos verticales prolongación de las aristas del vano, sustentándose dichas dos verticales en la línea *A B* superior de la faja de imposta *I*. La montea puede considerarse aquí la *D C* que es mayor que la *A D*.

Reasumiendo estos casos de arcos circulares observaremos que en el primer caso el arco es cumplido y su centro está á la mitad de la misma línea de arranque, el segundo cuando es rebajado el centro está debajo de la línea de arranque y finalmente en el tercer caso siendo peraltado el centro se encuentra en la parte superior de la misma línea.

217. Arcos de segundo grado.—Se llaman así en el concepto de echar mano de las curvas de esta clase para terminar el vano. Así pues cuéntanse los arcos elíptico, parabólico é hiperbólico.

(*a*). **Arco Elíptico.**—Es aquel cuya línea que lo forma es una semielipse (Fig. 95). Será rebajado cuando el eje mayor sea horizontal y el menor vertical, cambiándose en peraltado (Fig. 96) si el eje mayor es el vertical y el menor el horizontal.

Conócesele por arco á *Vuelta de cordel* y antiguamente por *Arco del Hilo*, en razón al medio que se valían para tra-

zarlo; esto es valiéndose de sus focos y con un cordel fijo en ellos de longitud igual al eje mayor. Por el movimiento continuo, valiéndose de este cordel y con arreglo á la definición de la curva, es que esta puede trazarse en el plano de montea.

De como harás el arco del hilo, tan necesario como bueno. López de Arenas.

(*b*). **Arco parabólico.**—Se denomina así cuando la línea que lo forma es una parábola (Fig. 97). Para el trazo de la curva en el plano de montea regularmente se emplea el procedimiento fundado en la propiedad de esta curva.

"*La recta que pasando por el vértice es perpendicular al eje, es el lugar geométrico de las proyecciones del foco sobre cada una de las tangentes*".

En su virtud si se echa mano de una escuadra de modo que uno de sus lados pase constantemente por el foco *F*, al mismo tiempo que se le imprime un movimiento continuo de manera á que el vértice de la misma vaya recorriendo todos los puntos *p*, *m*, *n*, etc., de la recta *D E*, entonces las nuevas posiciones de los lados *p p"*, *m m"*, *n n"*, etc., irán sucesivamente cortándose dándonos puntos de la curva á la cual serán ellas tangentes.

Sea dada la luz *A B* y la montea *K C*, así como *B G*, *A H* y *D E* tangente á la parábola. Si con estos datos se quisiera trazar el arco parabólico, por el procedimiento anterior, bastaría solamente encontrar el foco F, para lo cual bastará trazar por los puntos *H* y *G* en donde cortan las primeras tangentes á la segunda *D E*; perpendiculares á las primeras y el encuentro de dichas perpendiculares nos darán el foco en cuestión. Todo en virtud de la propiedad más arriba mentada.

Otro procedimiento (Fig. 98), se emplea también bastante expedito para cuando se acude á la montea, debido á Mr. Humeau, profesor de matemáticas en la Escuela de Artes y Oficios de la ciudad d'Aix. Sea *M K* la semiluz y *K A* la montea, fórmese el rectángulo *M K A E* dividiendo luego *A E* y *M E* en el mismo número de partes iguales; en cinco en nuestro caso, y numerando dichas partes en la disposición que muestra la figura, uniendo el punto *A* con los puntos *1*, *2*, *3*, etc., de la *E M* y los puntos de intersección de estas rectas con las paralelas trazadas por los puntos que tienen la misma cota en la *A E* pertenecerán á la parábola *M d B b a*.

En efecto tendremos $\frac{BC}{MK} = \frac{3}{5}$, $\frac{\overline{BC}^2}{\overline{MK}^2} = \frac{9}{25}$

Pero los triángulos semejantes *A B C* y *A D E* nos dan $\frac{AC}{ED} = \frac{BC}{AE} = \frac{3}{5}$ más como $ED = \frac{3}{5} AK$ resultará sustituyendo $\frac{AC}{{}^3/_5\, AK} = \frac{3}{5}$ ó bien $\frac{AC}{AK} = \frac{9}{25} = \frac{\overline{BC}^2}{\overline{MK}^2}$

Propiedad que nos indica que la curva obtenida es tal que los cuadrados de sus ordenadas están en la misma relación que las abcisas correspondientes, lo cual nos prueba será una línea parabólica que es la que reune semejante requisito.

(*c*). **Arco Hiperbólico.**—Así se llama si es una rama de hipérbola la que cierra la abertura (Fig. 99). No se emplea casi nunca dicha curva por dar en su misma naturaleza un arco muy rebajado sustituyéndole con ventaja el circular. Sin embargo de querer trazar este arco en el plano de montea, aconseja Mr. Caisser el siguiente procedimiento. Se da el foco *F* y las tangentes *A L*, *B L* y la horizontal *H H'* en donde está el vértice de la curva, proyéctese el foco sobre estas tres tangentes y así tendremos los puntos *C*, *G*, *G'* por los cuales se hará pasar una circunferencia; será el círculo principal de la hipérbola, conocido que sea éste nos dará el centro *O*, el eje real *C C'* y el otro foco *F'* y con estos datos trácese la curva por cualquiera de los procedimientos que de ella se conocen. Estas construcciones están fundadas en la siguiente propiedad: "*Si desde los focos de la hipérbola se bajan perpendiculares á sus tangentes, la distancia de los pies de estas perpendiculares al centro, es constante é igual al semieje real; de suerte que todos estos puntos tienen por lugar geométrico una circunferencia descrita sobre este eje como diámetro*".

218. **Arco deprimido.**—(Fig. 100). El formado por dos cuadrantes reunidos por una línea recta. Esto es un arco adintelado *D C*, tangente á dos cuartos de circunferencia *A D*, *B C* tangentes á su vez á las verticales de los apoyos.

219. **Arcos Ojivales.**—La arquitectura gótica empleó una diversidad de formas para los arcos que habían de cerrar los vanos. Usó el dintel, el medio punto, el circular rebajado y el arco ojival en disposiciones y formas diversas.

Según esto la denominación de estilo ojival, empleado impropiamente para designar el estilo gótico, ofrece un concepto muy restringido de los recursos de que éste es capaz. El

arco ojival por si solo no imprime el carácter á dicho estilo, es de él tan solo, un accesorio secundario.

Llámase arco ojival, el que consta de dos ó más porciones de círculos iguales, trazados desde centros que están equidistantes del medio del vano.

(*a*) **Arco ojival perfecto**.—Se entiende bajo esta denominación, cuando está formado por dos arcos de círculo descritos con un mismo radio y cuyos centros están situados sobre la la línea de arranque. Resulta de esta posición de los centros, (Fig. 101). que si los arcos se trazan tangentes á las líneas de los apoyos, serán de mayor efecto cumpliendo con esta condición. Los centros pueden encontrarse según esto: 1.° entre los puntos de arranque en el interior de la abertura. 2.° á una y otra parte de los puntos de arranque en el exterior de la abertura y 3.° en los mismos puntos de arranque. Se infiere que cuanto más los centros tiendan á aproximarse, tanto menor será la altura del punto de intersección de los arcos y en el caso de confundirse dichos centros entonces los arcos serían dos cuadrantes, formando en su conjunto un arco de medio punto.

La figura antedicha reasume los tres ejemplos citados.

El arco *A E B*, tiene sus centros en *I* y *J*, el *A D B* tiene sus centros en los mismos puntos de arranque *A* y *B*; el *A C B* tiene sus centros en *G* y *H* en el interior del vano. Algunos autores opinan entre ellos M. Perrin que las distancias *A-G* y *A-I*, han de ser la cuarta parte de la luz *A-B* en virtud de las analogías que han encontrado con esta relación, en los distintos trabajos practicados en los edificios de esta índole. De estos tres arcos ojivales se ha sacado una denominación deducida ó tomando como á base para clasificarlos el ángulo que forman al encontrarse las dos curvas. En cada uno de estos arcos se puede inscribir un triángulo rectilíneo en que los ángulos al vértice *E*, *D*, *C*, van aumentando á medida que sus centros se aproximan y así tendremos que el ángulo en *E*, será menor de 60°, el ángulo en *D* será de 60° y el ángulo en *C* será mayor de 60°. Según esto el arco *A E B*, se llama peraltado ó lancetado, el *A D B*, será el cumplido y el *A C B*, el rebajado. Téngase pues bien en cuenta el significado de esta denominación pues no obedece al mismo significado de los arcos simplemente circulares.

(*b*). **Arco ojival quebrado**.—Recibe esta denominación cuando las dos curvas que lo forman no son tangentes á las líneas

verticales de los apoyos (Fig. 102, Lám. 11), su empleo tiene lugar cuando no hay elevación suficiente para construir el arco ojival perfecto. El trazado es el siguiente: se divide la luz *a b* en cuatro partes iguales *a-c'*, *c'-d'*, *d'-c''*, *c''-b*, trasladándose las distancias *a c'* y *b c''* en *a c* y en *b c'''*. Los puntos *c* y *c'''* serán los centros respectivos de los arcos *b h* y *a h*. Cuando se quiera hacer destacar más en su quebranto de los puntos *a* y *b* puede trazársele más rebajado acudiendo á los puntos centrales *d*, *d'''* obtenidos trasladando *a d'* en *a d* y *d' b* en *b d'''*.

(*c*). **Arco túmido**.—Cuando los centros de los arcos se encuentran encima de la línea de arranque (Fig. 103, Lám. 11) presentándose algún tanto hinchados en sus tercios. Los hay de tres clases: 1.° como el *m q n* cuyos centros *c*, *d* entran dentro del vano, 2.° el *m h n* sus centros *a*, *b* se encuentran en las prolongaciones de las verticales de los apoyos y 3.° el *m i n* sus centros *e f* se situan fuera de la abertura

Los dos primeros son los arcos ojivos *árabes* y moriscos y el último es el *lanceolado*.

(*d*). **Arco apainelado apuntado. Arco agudo**.—El que consta (Fig. 104), de dos ó varias porciones de círculo iguales dos á dos, trazadas desde centros que están equidistantes del medio del vano, formando ángulo en la clave, se empleó en el siglo XV. Es un caso particular del arco ojival rebajado y se encuentra muy á menudo en los varios monumentos góticos de Inglaterra en donde se presenta como forma dominante, apareciendo más ó menos rebajado, pero conservando siempre las mismas proporciones para un mismo edificio. Suele hacerse uso de este arco ojival en los casos que no se pueda disponer de bastante altura para emplear el arco ojival perfecto, teniendo siempre en cuenta cuando se le construye, que las masas y los detalles de la construcción deben reproducir esta forma en todas sus partes, *a b* es la luz de la abertura, divídase ésta en cuatro partes iguales *a c*, *c e*, *e d*, *d b* y haciendo centro en los puntos *c* y *d* trácense los arcos *a h'*, *b h* cuyas cuerdas respectivas sean iguales á la distancia *a c*. Obtenidos los puntos *h'*, *h* únanse respectivamente con *c* y *d* prolongando las rectas que así resulten hasta encontrar en *o'*, *o* las líneas verticales de los apoyos. Los puntos *o'*, *o* serán los centros respectivos de los arcos *g h*, *g h'*. En el caso que los puntos *c*, *h'* estuvieran muy próximos que no precisaran lo bastante la dirección del radio, podríase encontrar

otro punto auxiliar en *f*, el cual se encontraría fácilmente pues sería el vértice de un triángulo equilátero cuya base es *c e*. Lo mismo sucedería para el punto *f'*.

220. (*a*). **Arcos conopiales. Arco Tudor.**—Son aquellos cuyas ramas que lo terminan, son ó imitan la forma de un talón el cual puede tener distintas dimensiones, sus curvaturas más ó menos pronunciadas y de ésto dimanan sus distintas clases. Estos arcos por su índole especial tienen la ventaja de poderse emplear cuando convenga que el peralte sea bastante acentuado. Para la construcción del arco de la Figura 105, en donde *a b* representa la luz, se dividirá ésta en cuatro partes iguales levantándose luego en *c* y *c'* dos perpendiculares sobre las cuales se tomarán dos distancias *c d*, *d o* iguales cada una á *a c* en cuyo caso el punto *c* será el centro del cuadrante *a d* y el punto *o* será el centro del segundo cuadrante *d f* tangente al primero pues ambos á dos tienen los centros respectivos en la prolongación de una misma normal y por lo tanto tienen una tangente común que es la horizontal que pasa por el punto *d* formando así las dos curvas, las dos mitades de un mismo talón; lo mismo que haríamos con los puntos centros *c' o'* del otro talón simétrico. Según vemos los cuatro centros respectivos obedecen á los vértices de un cuadrado cuya base es la *c c'* mitad de la luz *a b* limitándose toda esta clase de arcos en el vértice superior *f* en un ángulo curvilíneo y convexo excesivamente agudo.

Esta clase especial de arcos se encuentra ordinariamente en la última época del estilo gótico. Aquí en este caso especial el arco determina por sí mismo el hueco de la puerta ó vano, pero hay otros ejemplos en que el arco conopial se apoya sobre otro arco inferior dejando un espacio lleno en la parte entre los dos comprendido, y entonces el hueco de la puerta lo termina el segundo arco; dicho se está pues, que según sea la forma del segundo arco así será la disposición que se dé al primero. El segundo arco puede ser de medio punta ú ojival.

(*b*). Primer caso: (Fig. 106). Siendo *a b* la luz de la abertura descríbase una semicircunferencia desde el centro *o* tomando sobre los arcos de la misma y á partir de los arranques *a* y *b* dos cuerdas *a c*, *b d* iguales á la semiluz. Sobre *c d* constrúyase un triángulo equilátero cuyo vértice opuesto será el punto *e*, sobre *c e* constrúyase ahora otro triángulo

equilátero y el vértice obtenido en el punto *o'* será el centro del segundo arco *c e*, que trazado con el radio *o' c* será tangente al *a c* en el punto *c*. Igual procedimiento seguiríamos con el arco *e d*. Los centros de los tres arcos descritos vienen en definitiva á ser los vértices de un triángulo equilátero cuyos lados son iguales á la luz de la abertura.

(*c*). La (Fig. 107) indica otro arco conopial en el que se han seguido las mismas construcciones que en el anterior con la única diferencia que el centro del arco *c' d* es el vértice de un triángulo isósceles en el cual los lados *d o*, *c' o* son iguales á la luz de la abertura; empleándose esta solución cuando se trate ó convenga disminuir la curvatura de la línea *c' d*.

(*d*). Segundo caso: (Fig. 108). Aquí los centros *c*, *o*, *o'* son los vértices de un triángulo isósceles. En este la curva interior es la ojival equilátera *a d b*, tómese la mitad de la abertura y colóquese como á cuerda en *a c'* y *b c''*, sobre *c' c''* constrúyase un triángulo equilátero y se obtendrá el vértice *e*, y finalmente sobre *c'' e* constrúyase un triángulo isósceles tal como *c'' e o*, el punto *o* será el centro del arco *c'' e*. Lo mismo haríamos para la otra rama simétrica.

(*e*). Otra solución de este segundo caso lo presenta la (Fig. 109) en el cual por motivos especiales conviene que la altura del vértice *e* sea precisamente igual á la luz *a b* lo cual exige que los puntos *c*, *d* estén próximos al vértice *f* del arco apuntado resultando así que las curvas superiores *c e*, *d e* sean muy pequeñas. De todos modos el centro *o* de una de ellas será el vértice de un triángulo isósceles levantado sobre *c d*.

En estos dos últimos ejemplos los arcos del conopial no son tangentes (Fig. 108) al punto *c'* en donde se verifica el cambio de curvatura, existe pues en este punto una solución de continuidad en el encuentro de las dos curvas; habiéndose expuesto estos ejemplos por serlo de otros casos que aparecen así, en el estilo gótico. Si pues se quiere que exista completo acuerdo en las dos curvas, se podrá operar como sigue (Fig. 110).

(*f*). Sea el punto *c* aquel en que se ha de verificar el acuerdo y *d* el punto culminante. Para que exista acuerdo es preciso que los dos arcos tengan una tangente común y por lo tanto que sus centros estén situados en una misma perpendicular á la tangente en el punto de unión *c* y como el centro del arco *b c* es el punto *a*, en *a c* prolongada estará el se-

gundo centro; más éste ha de equidistar de *c* y *d*, luego ha de estar también situado en la perpendicular levantada en el punto *f* medio de *c d*. La intersección de ambas rectas nos dará el punto *o*, desde el cual podremos trazar el arco *c d* que satisfará á la condición.

221. Arcos festoneados convexos.—Llámanse así cuando el hueco del vano está terminado por la parte superior por una serie de arcos formando una combinación de ondulaciones convexas, dependiendo la variedad de estos arcos del número de ondulaciones que presenten. Dos casos bastarán para hacerse cargo de los mismos, (*a*). El primero (Fig. 111, Lámina 11) está formado por dos cuadrantes de circunferencia, cuyos centros respectivos *o*, *o'* están en la prolongación de las líneas verticales de los apoyos siendo sus radios respectivos *o a*, *o' b* iguales á la semiluz. Estos arcos son respectivamente tangentes en el punto culminante *c* en donde forman un ángulo sumamente agudo análogo á los conopiales.

(*b*). 2.° Caso. A cuatro festones (Fig. 112). Siendo *a b* la luz de la abertura, divídase en cuatro partes iguales; constrúyase luego sobre *a 1*, *b 3* dos cuadrados, *a 1 e o*, *b 3 f o'*; los vértices respectivos *o*, *o'* serán los centros de los primeros arcos de arranque, *e a*, *b f*. Constrúyase asimismo sobre *1 3* un cuadrado *1 3 c' c* y él nos dará en los vértices *c*, *c'* los centros de los segundos arcos convexos *e d*, *f d*. Esta clase de arcos eran empleados en la última época de la arquitectura gótica y no presentan muy buen aspecto, atención hecha á que los arcos parciales de que se compone el total, siendo convexos, por la índole particular de su disposición se presentan opuestos á la manera de trabajar los arcos naturales cuales son los cóncavos y además ofrecen el inconveniente que hemos indicado en los conopiales, esto es, de la excesiva acuidad del ángulo del vértice.

222. Arcos festoneados cóncavos.—Distínguense estos arcos de los anteriores en que sus centros se encuentran en el interior del vano, mientras que en aquellos caían en la parte exterior de la abertura. Se comprenderá que muchos pueden ser los arcos de la naturaleza de que tratamos pues su mayor ó menor longitud y curvatura ha de depender de la distancia de sus centros al eje del hueco. Así; si suponemos que *c* y *c'* son los centros de los dos primeros arcos cuyos radios son *c m* y *c' n* iguales á *c a* y *c' b* (Fig. 113) con cuyos datos se describirán en *a m* y *b n* las partes del arco que empiezan en los arranques; mientras que si se escogen los puntos *o'*, *o* simétricos del eje y á una altura conveniente, estos serán los centros correspondientes de los trozos de arco *n q*, *m q* cuales cerrarán la abertura en el punto *q*. En el concepto que haya necesidad de aumentar la altura del punto y queriendo más peralte, todo quedaría reducido á escoger los centros ω, ω' á más altura y con ellos trazar los arcos *n p*, *m p*.

223. Arcos angrelados. (*a*). Son aquellos que están compuestos por una serie de arcos de circunferencia encontrándose formando ángulos, formando ondas, razón por la cual se les llama también ondulados y terminando algunas veces en su parte culminante por dos arcos convexos á imitación del conopial. Divídase *a b* (Fig. 114) luz de la abertura en cuatro partes iguales. Sobre los puntos de división *o*, *m*, *o'* levántense perpendiculares iguales á una división tal como *a o*, y con la misma distancia *a o* trácense los dos cuadrantes *a g*, *b n*, y la semicircunferencia de centro *c*, *g d e n*. Tómese luego la vertical *m k* igual á los tres cuartos de la luz *a b* tomando sobre la horizontal que pase por el punto *k* las distancias, *k* ω, *k* ω', iguales á *o m* y los puntos ω, ω' serán los centros del remate conopial *d f e*, partiendo de los puntos *d* y *e* determinados tomando la distancia *c g* y colocándola como á cuerda de *g* á *d* y de *n* á *e*.

(*b*). En la solución siguiente (Fig. 115) á la parte conopial superior se la da más importancia extendiendo más los arcos correspondientes *r K*, *s K* encontrando entonces los centros ω y ω' en los cruces de los arcos trazados respectivamente desde *r*, *K* como centros y con la magnitud *r K* como radio.

Más ya hemos dicho antes, que esta clase de arcos pueden también construirse prescindiendo de la terminación del conopio, siendo varios los procedimientos que pueden emplearse y según el número de sus pequeñas arcuaciones se le denomina.

(*c*). Así se llama *trebolado* cuando se compone de tres lóbulos (Fig. 116) su construcción puede hacerse tomando la luz *a b* como la base de un triángulo isósceles *a b o*, dividiendo luego los lados iguales *a o*, *b o* en tres partes. Los puntos obtenidos en *o*, *o'*, *o''* serán los centros de tres circunferencias cuyos radios respectivos serán una de las distancias antedichas *a o'*.

(*d*). El arco angrelado puede ser también *Quinquefoliado*, esto es, que se componga de cinco lóbulos (Fig. 117). Sea *a b* la luz de la abertura (método de M. Perrín) divídase en seis partes iguales; en la primera y en la última de estas partes levántense las verticales *c d*, *c' e* tomando sobre cada una de ellas la parte *a c*, así determinaremos la horizontal *d e*. Los puntos *c* y *c'* serán los centros de los cuadrantes circulares del arranque; constrúyase luego sobre la línea *d e* como base un triángulo isósceles *d o e*, determinando los centros *o*, *o'*, *o"* de los tres lóbulos restantes, como se ha hecho en el caso anterior.

(*e*). En general llámase arco *multilobado* cuando está compuesto de muchas arcuaciones ó lóbulos sin precisar su número (Fig. 118) Su construcción es sumamente fácil, pues que la disposición de los centros de estos arcos obedece á una forma general interior de antemano fijada; sea por ejemplo *a b* la luz de la abertura. Construyamos sobre ella un arco ojival rebajado cuyos centros respectivos sean los puntos *c'*, *c"*; divídase luego el arco en un número de partes iguales *o j*, *j o'*, *o' i*, *i o"*... etc., y haciendo centro en los puntos de división de lugar impar y con un radio igual á cada una de estas partes, trácense las semicircunferencias que demuestra la figura.

Hay casos en que cada una de estas arcuaciones es mayor que una semicircunferencia y en este concepto, los puntos centros se han de levantar algo más en la dirección de los radios *c' g*, *c' p*, *c'*... etc.

También hubo ejemplos en que las arcuaciones que componían el arco total, eran de reducidas dimensiones, muy menudas y entonces se llamaban también los arcos *Festonados*.

Esta clase de arcos fueron usados en la arquitectura árabe, algún tanto en el último período románico, y también se le encuentra en el estilo ojival.

No pocas veces se echaba mano de él como á objeto de ornato, por prestarse á ello, la forma de picos y lóbulos cóncavos, producidos por los arcos de círculo que se cruzan; terminándose con él las ventanas y puertas de un modo muy elegante y susceptible de un buen efecto.

El angrelado puede subdividirse en simple y compuesto. El primero tiene cada lóbulo formado por un arco de círculo y en el segundo dicho elemento está compuesto de varios arcos de círculo formando trébol, cuadrifolio... etc.

224. Arcos carpaneles. Apainelado.—Toma el nombre de arco carpanel, cuando teniendo la forma aproximada de una elipse se trazan sus distintas partes con una serie de arcos de circunferencia, cuyos centros son en número impar.

Prefiérense los arcos carpaneles á los elípticos en razón de ser más fácil el trazado exacto de las normales á la misma curva y de ser más uniformes las curvaturas en los distintos trechos. Hay distinta variación de carpaneles distinguiéndose entre sí, por el número de centros con los cuales se trazan pero siempre siendo éstos en número impar. El trazado de un carpanel pasando por tres puntos cuales son los dos de arranque y el culminante, es un problema indeterminado pues admite muchas soluciones dependiendo todas ellas de los datos y condiciones que se exijan haya de cumplir. Expondremos primero la resolución de algunos casos variando en cada uno de ellos los datos y luego generalizaremos la cuestión valiéndonos de las relaciones que hayan de ligar entre sí estos mismos datos para que satisfagan á ciertas y determinadas condiciones á que haya de satisfacer la curva por las exigencias del problema.

Primer caso.—(*a*). Se da la luz *A B* (Fig. 119, Lám. 12), al mismo tiempo que los centros *D* y *E* de los arcos del arranque, no se da el eje menor, pero en su lugar hay la condición que los tres arcos que han de formar la línea han de ser de 60°. A este efecto tomando la distancia *D E* como á base de un triángulo equilátero constrúyase éste en *D E G*, prolongando los lados *G D*, *G E* hacia la parte superior. Haciendo centro ahora en los puntos *D* y *E* se podrán trazar los arcos *AM*, *BN*; las distancias *MG*, *GN* serán visiblemente iguales, pudiéndose trazar desde el punto *G* el arco *MN* que será tangente á los otros dos correspondiendo á un ángulo de 60°, lo propio que los primeros; la curva pues estará terminada con las condiciones fijadas.

Segundo caso.—(*b*). Los datos son: El eje mayor *A B*, el eje menor *C G* y los centros *O*, *O'* de los arcos laterales. (Figura 120, Lám. 12). Se quiere trazar con ellos el carpanel que pase por los puntos *A*, *C*, *B*. Tómese *A O*, colóquese de *C* en *D*, únase *D* con *O* trazando por su medio *F* una perpendicular hasta que corte en *O"* la prolongación del eje menor. Dicho punto *O"* será el centro del arco intermedio *E C E'*. En efecto, por las construcciones que se han llevado á cabo se tiene por isósceles el triángulo *O D O"*; por construcción tam-

bién se tiene $DC = AO = OE$, infiriéndose, por lo tanto, que $O'' C$ ha de ser igual á $O'' E$. Por otra parte los arcos $A E$, $E C E'$ han de acordarse por tener una tangente común en virtud de que sus centros respectivos O, O'' están situados sobre la misma perpendicular á la tangente antedicha.

Tercer caso.—(*c*). Se dan: La luz AB, la montea CG y el centro O'' del arco intermedio se pide encontrar los centros laterales (Fig. 121, Lám. 12). Con este motivo tomemos el radio $O''C$ colocándolo sobre el eje mayor en $A D$; únase D con O'' y en su medio F trácese una perpendicular la cual, prolongada, nos cortará en O al eje mayor. Dicho punto O será uno de los centros que buscamos y con él podremos trazar con el radio $O A$ el arco $A m$ hasta encontrar la prolongación de la recta que se una O'' con O y trasladando simétricamente la distancia $G O$ en $G O'$ tendremos el segundo centro que se pedía y con él el arco $n B$. Los arcos $A m$, $B n$ serán tangentes respectivamente al arco $m C n$ trazado con el centro dado O''. Que esto es evidente lo comprueba el triángulo isósceles que hemos construído en $O D O''$, de él deducimos que $OD = OO''$ y como que por construcción $OA = O m$ se infiere que $A D$ por construcción es igual $C O''$ pero $A D$ es también igual por los motivos expresados á $m O''$ luego se infiere que $m O''$ ha de ser igual á $C O''$. El arco que pase pues por m, trazado con el radio $m O''$ pasará por el punto c y tendrán dichos dos arcos una tangente común en m por la razón enunciada en el caso anterior.

Conviene tener muy en cuenta la relación que exista entre la montea y la luz para el mejor trazado del carpanel, pues á medida que aquella relación va disminuyendo la curva se deprime y entonces los acuerdos de los respectivos arcos se hacen más sensibles, y, al objeto de atenuar y hacer más insensibles estas diferencias de curvatura, se echa mano de más centros, y por consiguiente entran más arcos en la formación de la curva. Así pues se construyen carpaneles de siete, nueve, once, etc., siempre de un número impar de centros según sea menor dicha relación.

En general, prácticamente, se ha podido examinar:

1.° Si dicha relación varía de $\frac{1}{2}$ á $\frac{1}{3}$ se pueden emplear carpaneles de tres centros, fluctuando la abertura de 1^m á 10^m y de cinco centros cuando la abertura alcance un ancho de 10^m á 40^m.

2.° Si la relación está comprendida entre $\frac{1}{3}$ y $\frac{1}{4}$ pueden emplearse cinco centros en los anchos de 1^m á 10^m y de siete centros para cuando el puente tenga un ancho de 10^m á 40^m.

3.° Si la relación resulta menor de $\frac{1}{4}$, entonces es preferible renunciar á los carpaneles y escoger un arco de circunferencia.

Arco carpanel de cinco centros.—(*d*). Sea la (Fig. 122) en la cual $A B$, $C D$ son los ejes de la curva. Descríbase una semicircunferencia con el diámetro $A B$ dividiéndola luego en cinco partes iguales. Trácense las cuerdas de estos arcos exceptuando sólo el arco intermedio $G H$, que se trazarán las cuerdas $G E$, $E H$ de las mitades del arco, trácense del mismo modo los radios $D F$, $D G$, $D E$, $D H$, etc. Escójase el primer centro arbitrariamente en O sobre el eje mayor trazando luego por él la $K O$ indefinida paralela al primer radio $F D$. Si hacemos centro ahora en O y con el radio $O A$ trazamos el arco $A K$, éste será el primero y de arranque del carpanel. La paralela $K R$ á la segunda cuerda $F G$ y la paralela $C R$ á la otra cuerda $G E$ se cortarán en el punto R desde el cual conduciendo una paralela al segundo radio GD nos cortará sucesivamente en los puntos O', O'' á las rectas $K O$ y $C D$, convenientemente prolongadas. Con el centro O' trazaremos el segundo arco $K R$ y con el centro O'' continuaremos la curva en el tercer arco $R C$ y trasladando simétricamente todos los puntos obtenidos hacia la parte opuesta y simétricamente colocados con respecto al eje menor se obtendrá en definitiva el carpanel en cuestión.

Que la curva en sus construcciones sucesivas ha de ir aproximándose al punto C hasta pasar por él, es evidente en virtud de estas mismas operaciones, y, en efecto, si se observa el artificio con que están basadas estas mismas construcciones, se verá que para cada arco se ha formado un triángulo isósceles semejante á los dispuestos en la semicircunferencia. Así el $A O K$ es semejante al $A D F$, el $K O' R$ es semejante al $F D G$, y finalmente el $R O'' C$ es semejante al $G D E$, resultando de aquí que al tener en cuenta el último de estos el $R O'' C$ teniendo la propiedad de que los lados $R O''$ y $C O''$ siendo iguales forzosamente el arco que parte de R había de pasar por C.

(*e*). **Arco carpanel de siete centros.**—(Fig. 123). Insiguiendo las mismas construcciones que en el caso anterior; descrita que

sea la semicircunferencia AHB la dividiremos en siete partes, obtendremos sus cuerdas así como los radios que parten de los puntos de división. Escójase el primer centro arbitrario en O trazando la OP paralela al primer radio DE para luego trazar con el radio OA el primer arco AP. Escójase enseguida un segundo centro arbitrario en O' en la prolongación de la normal PO conduciendo enseguida por O' una paralela $O'Z$ al segundo radio DF, y así se podrá trazar de momento el segundo arco PZ; las paralelas ZM, MC á las cuerdas FG, GH nos darán, como en el caso anterior, el punto M por el cual trazando otra paralela al tercer radio GD nos proporcionará los centros O'' O''' del tercero y cuarto arco ZM, MC.

Se comprende, con estos dos casos, del modo como tendríamos que continuar á medida que el número impar de centros fuera aumentando, pues las operaciones son exactamente iguales con el auxilio de los triángulos isósceles escogiendo arbitrarios los $n - 3$, primeros centros hecha consideración en este último número de los simétricos.

(*f*). **Carpanel de un número cualquiera de centros.** — En la (Fig. 124) se han construido las dos semicircunferencias sobre los ejes mayor y menor en las cuales trazando radios que las dividen en partes iguales y trazando verticales por los puntos de división de la mayor y horizontales por los puntos de división de la menor, el cruce de las primeras con las segundas nos habrá dado una serie de puntos que unidos sabemos nos darán una elipse, trazando ahora la evoluta de esta elipse comprendida entre los radios de curvatura correspondientes á los vértices A, C tendremos establecida esta curva en O O' O'' O''' O^{IV} cuyas tangentes de la misma, cortándose sucesivamente, nos irán dando los centros de los distintos arcos Am, mn, np, etc., que podrán sustituir á los arcos de la elipse.

225. Dependiendo según hemos visto en todos los ejemplos anteriores la construcción del carpanel de una serie de datos que los unos están relacionados con los otros, parece lógico deducir una expresión general que nos indique el enlace de los valores de todos estos datos y así tener completa libertad de escoger los valores que creamos más convenientes para una parte de ellos, deduciendo enseguida por medio de la fórmula de enlace; los restantes. O ya también encontrando estos últimos valores con arreglo á las condiciones impuestas á la curva.

Tengamos á la vista la (Fig. 119) y en ella establezcamos las igualdades siguientes partiendo de la base de llamar a el semieje mayor, b el eje menor, r el radio lateral y R el radio central.

$$AF = a, \quad CF = b, \quad AD = r, \quad CG = R$$

El triángulo rectángulo DFG nos dará $\overline{GD}^2 = \overline{DF}^2 + \overline{GF}^2$ y sustituyendo en lugar de las letras sus valores.

$$(R - r)^2 = (a - r)^2 + (R - b)^2,$$

ó desarrollando los cuadrados.

$$R^2 - 2Rr + r^2 = a^2 - 2ar + r^2 + R^2 - 2Rb + b^2$$

y simplificando.

$$2Rb - 2Rr = a^2 - 2ar + b^2$$
$$2R(b - r) = a^2 - 2ar + b^2$$

de donde.

$$(1) \quad R = \frac{a^2 - 2ar + b^2}{2(b - r)}.$$

Ecuación general que permite escoger uno de los radios determinando luego el otro, ó si se quiere imponer la condición que se desee sujetándola empero á la fórmula antedicha.

(*a*). **Primer ejemplo.**—Se impone al carpanel la condición de que cada uno de los tres arcos que lo componen sean de 60.° (Fig. 125).

Con esta condición tendremos que el triángulo $m'Gm''$ será equilátero, así como también lo será el AMm'; según esto, precisa encontrar el centro m' del arco lateral ó su distancia $m'F$ al centro de figura F que responda á la condición exigida, llamando pues por x la incógnita $m'F$ tendremos como á base de partida las siguientes igualdades:

$$AF = a;\ CF = b;\ m'F = x,\ r = Am' = a - x;\ R = CG = MG = Am'' = AF + Fm'' = a + x.$$

Sustituyendo valores en la fórmula general será

$$a + x = \frac{a^2 + b^2 - 2a(a - x)}{2(b - a + x)} = \frac{a^2 + b^2 - 2a^2 + 2ax}{2b - 2a + 2x}$$

quitando el denominador

$$2ab-2a^2+2ax+2bx-2ax+2x^2=a^2+b^2-2a^2+2ax$$

y reduciendo

$$2bx+2x^2-2ax=a^2+b^2-2ab$$

ordenando

$$2x^2+2(b-a)x=a^2+b^2-2ab=(a-b)^2$$

$$x^2-(a-b)x=\frac{(a-b)^2}{2}$$

$$x^2-(a-b)x-\frac{(a-b)^2}{2}=0$$

y despejando será (*)

$$x=\frac{a-b}{2}+\sqrt{\frac{(a-b)^2}{4}+\frac{(a-b)^2}{2}}$$

$$=\frac{a-b}{2}+\sqrt{\frac{(a-b)^2}{4}+\frac{2(a-b)^2}{4}}=\frac{a-b}{2}+\sqrt{\frac{3}{4}(a-b)^2}$$

$$x=\frac{a-b}{2}+\frac{a-b}{2}\sqrt{3}$$

Vemos pues que el radio r ha de estar compuesto de dos sumandos y construyendo cada uno de ellos y colocándolos uno á continuación de otro en $n\,F$ y $n\,m'$ tendrémos el punto m' que satisfará á la condición de ser el centro del arco lateral de un ángulo de 60°.

En efecto tomemos en $F\,E$ la cantidad $a-b$ y en $F\,n$ la cantidad $\frac{a-b}{2}$, sobre $n\,E$ construyamos una semicircunferencia la cual cortará en m al eje menor $E\,F$. Si ahora haciendo centro en n y con el radio $m\,n$ trazamos un arco hasta que corte en m' al eje mayor, obtendremos así el centro m' que buscamos y que corresponde al arco lateral $A\,M$ con la condición impuesta lo cual se evidencia examinando las relaciones que ligan las operaciones que se han efectuado y así es que estas nos indican en la (Fig. 125).

(*) Presciadiendo del valor negativo que no daría solución apropósito para nuestro caso.

$$m\,F^2=n\,F\times F\,E=\frac{a-b}{2}(a-b) \qquad n\,F^2=\frac{(a-b)^2}{4}$$

$$m\,n^2=m\,F^2+n\,F^2=\frac{(a-b)^2}{2}+\frac{(a-b)^2}{4}=\frac{4(a+b)^2+2(a-b)^2}{8}$$

$$=\frac{6(a-b)^2}{8}=\frac{3}{4}(a-b)^2$$

$$m\,n=\sqrt{\frac{3}{4}(a-b)^2}=\frac{a-b}{2}\sqrt{3}$$

y por consiguiente resulta que

$$x=n\,F+n\,m'=\frac{a-b}{2}+\frac{a-b}{2}\sqrt{3} \quad (2)$$

Este mismo valor es susceptible de otro procedimiento aunque aproximado pues aproximada es no más la $\sqrt{3}$ á este fin podemos poner la igualdad $\sqrt{3}=\sqrt{\frac{27}{9}}$ cuyo valor con aproximación de 0'06 es el de $\frac{5}{3}$ sustituyendo los $\frac{5}{3}$ en lugar de $\sqrt{3}$ en la fórmula encontrada (2) nos dará

$$x=\frac{a-b}{2}+\frac{a-b}{2}\times\frac{5}{3}=\frac{a-b}{2}+\frac{5(a-b)}{6}=\frac{3(a-b)}{6}$$

$$+\frac{5(a-b)}{6}=\frac{8}{6}(a-b)=\frac{4}{3}(a-b)$$

Por consiguiente bastará tomar los $\frac{4}{3}(a-b)$ de F en m y obtener así con bastante aproximación el centro pedido m'.

(*b*). **Segundo procedimiento.**—Constrúyase (Fig. 126) sobre $A\,G$ el triángulo equilátero $A\,G\,D$ haciendo luego centro en G con el radio $G\,C$ trácese un arco hasta que corte en el punto E al lado $D\,G$, únase E con C prolongando la línea $E\,C$ hasta cortar en F al otro lado $D\,A$ finalmente conduciendo por F una paralela á la $D\,G$, la línea $F\,O'$ que así resulte nos cortará al eje mayor y al menor respectivamente en los O, O' y estos serán los centros que satisfarán á la condición de ser de 60° los arcos de la curva.

Para esto todo queda reducido á probar que con el auxilio de estas construcciones hemos obtenido la distancia $O\,G$ que es igual á la expresión

$$\frac{a-b}{2}+\frac{(a-b)\sqrt{3}}{2}$$

y al efecto partamos de las siguientes igualdades

$$x = O\,G = D\,F = D\,E\,\frac{\text{sen } 75^\circ}{\text{sen } 45^\circ}$$

pero por otra parte se tiene

$$D\,E = a - b; \ \text{sen } 45^\circ = \sqrt{\frac{1}{2}}$$

$$\text{sen } 75^\circ = \text{sen }(30^\circ + 45^\circ) = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{1}{2}} + \sqrt{\frac{1}{2}}.\ \sqrt{\frac{3}{4}}$$

de donde y sustituyendo será

$$x = (a-b)\,\frac{\frac{1}{2}\sqrt{\frac{1}{2}}+\sqrt{\frac{1}{2}}.\ \sqrt{\frac{3}{4}}}{\sqrt{\frac{1}{2}}} = \frac{a-b}{2}+\frac{a-b}{2}\sqrt{3}$$

(*c*). **Segundo ejemplo.**—Se quiere ahora construir un carpanel con la condición que la relación que exista entre los radios r y R sea un mínimum. Esta relación entre los radios valiéndonos de la fórmula general (1) será

$$\frac{R}{r} = \frac{a^2+b^2-2\,a\,r}{2\,(b\,r - r^2)}.$$

Igualando á cero la derivada de esta expresión se tendrá $\frac{-2\,a\,(2\,b\,r - 2\,r^2) - (a^2+b^2-2\,a\,r)\,(2\,b - 4\,r)}{(2\,b\,r - 2\,r^2)^2} = 0$ efectuando las operaciones será

$$\frac{-4abr + 4ar^2 - 2a^2b - 2b^3 + 4abr + 4a^2r + 4b^2r - 8ar^2}{(2\,b\,r - 2\,r^2)^2} = 0$$

dividiendo por 4 quitando denominadores y cambiando signos se obtendrá $a\,r^2 - (a^2+b^2)\,r - \frac{b\,(a^2+b^2)}{2} = 0$ despejando r y teniendo en cuenta la forma de esta ecuación que la incógnita es igual al coeficiente del segundo término con signo contrario más ó menos la raíz cuadrada del resultado que se obtiene quitando el cuadrado de dicho coeficiente el cua-

druplo del producto de los términos extremos dividido todo por el duplo del coeficiente del primer término será

$$r = \frac{a^2+b^2-\sqrt{(a^2+b^2)^2 - 2\,a\,b\,(a^2+b^2)}}{2\,a} =$$

$$\frac{a^2+b^2-\sqrt{(a^2+b^2)\,(a^2+b^2) - 2\,a\,b\,(a^2+b^2)}}{2\,a} =$$

$$= \frac{a^2+b^2-\sqrt{a^2+b^2\,(-2\,a\,b + a^2+b^2)}}{2\,a} =$$

$$\frac{a^2+b^2-\sqrt{(a^2+b^2)\,(a-b)^2}}{2\,a} =$$

$$= \frac{\sqrt{a^2+b^2}\times\sqrt{a^2+b^2}-\sqrt{(a^2+b^2)\,(a-b)^2}}{2\,a} =$$

$$\frac{\sqrt{a^2+b^2}}{a}\times\frac{[\sqrt{a^2+b^2}-(a-b)]}{2}$$

Para hallar el valor de R combinemos el valor encontrado de r con la ecuación general (1) y será

$$R = \frac{a^2+b^2-2ar}{2\,(b-r)} = \frac{a^2+b^2-\sqrt{a^2+b^2}\,[\sqrt{a^2+b^2}-(a-b)]}{2b-\frac{\sqrt{a^2+b^2}\,[\sqrt{a^2+b^2}-(a-b)]}{a}} =$$

$$= \frac{\sqrt{a^2+b^2}\,(a-b)}{\frac{2\,a\,b-(a^2+b^2)+\sqrt{a^2+b^2}\,(a-b)}{a}} =$$

$$\frac{a\sqrt{a^2+b^2}\,(a-b)}{-(a-b)^2+\sqrt{a^2+b^2}\,(a-b)} = \frac{a\sqrt{a^2+b^2}}{\sqrt{a^2+b^2}-(a-b)}$$

aun que este valor puede ya construirse lo transformaremos sin embargo con otro de más fácil aplicación, al efecto multipliquemos numerador y denominador por el factor

$$\left(\sqrt{a^2+b^2}+(a-b)\right)$$

y se convertirá en

$$\frac{a\sqrt{a^2+b^2}\left(\sqrt{a^2+b^2}+(a-b)\right)}{\left(\sqrt{a^2+b^2}-(a-b)\right)\,[\sqrt{a^2+b^2}+(a-b)]} =$$

$$\frac{a\sqrt{a^2+b^2}\left(\sqrt{a^2+b^2}+(a-b)\right)}{2\,a\,b}.$$

Por consiguiente para los valores de r y R que podremos construir tendremos

$$r=\frac{\sqrt{a^2+b^2}}{a}\cdot\frac{\left[\sqrt{a^2+b^2}-(a-b)\right]}{2}\qquad(3)$$

$$R=\frac{\sqrt{a^2+b^2}}{b}\cdot\frac{\left[\sqrt{a^2+b^2}+(a-b)\right]}{2}\qquad(4).$$

Al encontrar el valor de r y despejar esta incógnita en la ecuación correspondiente de segundo grado hemos desechado el segundo valor pues que nos habría conducido á ser $r > b$ y como á consecuencia $R < a$, de manera que los dos arcos de circunferencia resultarían acordarse fuera de los límites establecidos para la clave, disposición que no conviene á lo que nos proponemos.

Pasando ahora á la construcción de las ecuaciones (3) y (4) á la vista de la figura 127 en que $A\,B$ y $D\,C$ son los ejes del carpanel, tómese $D\,A$ y colóquese de D á E, la $C\,E$ que resulte será la diferencia $a-b$; haciendo centro en C y con el radio $C\,E$, trácese el arco $E\,F$ hasta que corte en F la $A\,C$; finalmente si por el punto G, medio de $A\;F$, trazamos una perpendicular, ésta cortará en O y en O'' á los ejes mayor y prolongación del menor. Los puntos O, O'' serán, el primero el centro del arco del arranque y el segundo el correspondiente al arco central, y en efecto, las líneas $A\;O=r$ y $O''\;C=R$ satisfacen á los valores de las ecuaciones (3) y (4)

$$GF=AG=\frac{AF}{2}=\frac{AC-CF}{2}=\frac{\sqrt{a^2+b^2}-(a-b)}{2}$$

$$GC=GF+FC=\frac{\sqrt{a^2+b^2}-(a-b)}{2}+(a-b)=$$

$$\frac{\sqrt{a^2+b^2}+(a-b)}{2}$$

Si ahora consideramos los triángulos $A\,G\,O$ y $A\,C\,D$ por una parte y por otra $C\,G\,O''$ y $A\,C\,D$, como son semejantes nos darán

$$\frac{AO}{AG}=\frac{A\,C}{AD}, \quad r=AO=AG\,\frac{AC}{AD}=\frac{\sqrt{a^2+b^2}-(a-b)}{2}\times\frac{\sqrt{a^2+b^2}}{a}$$

$$\frac{O''C}{C\;G}=\frac{AC}{CD}, \quad R=\frac{AC}{CD}\times CG=\frac{\sqrt{a^2+b^2}}{b}\times\frac{\sqrt{a^2+b^2}+(a-b)}{2}$$

(*d*). **Tercer ejemplo.**—Construir un carpanel en que sea un mínimun la diferencia de los radios.

Echando mano de la fórmula general y sustrayendo de ella r, tendremos

$$R-r=\frac{a^2+b^2-2\,a\,r}{2\,(b-r)}-r$$

derivando

$$\frac{-2\,a\,(2\,b-2\,r)-(-2)\,(a^2+b^2-2\,a\,r)}{4\,(b-r)^2}-1=0$$

$$\frac{-4\,a\,b+4\,a\,r+2\,a^2+2\,b^2-4\,a\,r}{4\,b^2-8\,b\,r+4\,r^2}-1=0$$

$$-4\,a\,b+2\,a^2+2\,b^2+8\,b\,r-4\,r^2-4\,b^2=0$$

$$4\,r^2-8\,b\,r+4\,a\,b-2\,a^2-2\,b^2+4\,b^2=0$$

$$r^2-2\,b\,r+a\,b-\frac{a^2}{2}-\frac{b^2}{2}+b^2=0$$

$$r^2-2\,b\,r+b^2=\frac{a^2+b^2}{2}-a\,b=\frac{(a-b)^2}{2}$$

$$r=b\pm\sqrt{b^2-b^2+\frac{(a-b)^2}{2}}=b-\sqrt{\frac{2\,(a-b)^2}{4}}=$$

$$b-\frac{a-b}{2}\sqrt{2}\qquad(5).$$

Para el valor de R tendremos:

$$R=\frac{a^2+b^2-2\,a\,r}{2\,(b-r)}=\frac{a^2+b^2-2\,a\left(b-\frac{a-b}{2}\sqrt{2}\right)}{2\,b-2\,b+(a-b)\sqrt{2}}=$$

$$\frac{a^2+b^2-2\,a\,b+a\,(a-b)\sqrt{2}}{(a-b)\sqrt{2}}=\frac{(a-b)^2+a\,(a-b)\sqrt{2}}{(a-b)\sqrt{2}}=$$

$$\frac{(a-b)+a\sqrt{2}}{\sqrt{2}}=\frac{(a-b)\sqrt{2}+2a}{2}=a+\frac{a-b}{2}\sqrt{2}\qquad(6).$$

También aquí hemos desechado el otro valor de r, deducido en el despejo de la incógnita, el cual daría $r > R$ lo cual haría que los arcos de circunferencia no se acordaran en los límites fijados, yendo á unirse fuera de la clave.

Para la construcción de los valores R y r de las fórmulas (5) y (6) sea la (Fig. 128) en donde $A\,B$ y $C\,G$ son los ejes del carpanel, tomemos las distancias $G\,D$ y $G\,E$ igual cada una de ellas á $a-b$; unamos D con E y buscando su medio F haciendo centro en los puntos extremos D y E y con el radio igual á dichas mitades trácense dos arcos hasta que corten en O, O' á los ejes mayor y menor. Los puntos así obtenidos serán los centros de los arcos de arranque y del central

$$DG=a-b=GE, \quad OD=DF=\frac{DE}{2}=\frac{\sqrt{2(a-b)^2}}{2}=\frac{(a-b)\sqrt{2}}{2}$$

$$AG=a \qquad r=AO=AG-(OD+DG)=a-\left[\frac{(a-b)\sqrt{2}}{2}+(a-b)\right]=$$

$$b-\frac{(a-b)\sqrt{2}}{2}$$

$$R=CO'=CG+GO'=b+\frac{(a-b)\sqrt{2}}{2}+(a-b)=a+\frac{(a-b)\sqrt{2}}{2}$$

Cuyos valores son los mismos encontrados anteriormente.

226. Arcos por tranquil, de arranques desiguales, arcos cojos, arcos en bajada.—Llámanse así los que tienen los puntos de arranque á distinto nivel, afectando la curva ordinariamente la figura de una elipse, de un arco circular más ó menos cóncavo y extendido, ó compuesto de varios arcos circulares tangentes entre sí y teniendo mayor curvatura los de los extremos especialmente el superior.

Esta clase de arcos se han empleado para contrarestar el empuje de las bóvedas, terraplenes y otros objetos por motivos análogos, así como también para servir de apoyo á los suelos inclinados ó rampas y tramos de escalera. En la Arquitectura gótica fueron empleados con profusión con variedad de formas y combinaciones con los nombres de arcos botantes, arcos botareles, etc.

Pueden construirse valiéndonos de la elipse ó de arcos de círculo combinados, dependiendo su forma general del número é índole de datos á que es necesario sujetarse, y estos datos son susceptibles de mucha combinación, entre las cuales nos concretaremos á los siguientes:

227. 1.° Valiéndonos de arcos de circunferencia: Construcción de un arco por tranquil conociendo la separación de los apoyos á la línea de arranque.

Los apoyos son las verticales que parten de (Fig. 129) los puntos A y B y la línea de arranque es la $A\,B$, cuyo desnivel de los arranques es la altura $B\,F$.

Si por el punto medio O de $A\,B$ levantamos una vertical $O\,C$ igual á $O\,B$, podremos con facilidad hacer pasar el arco por dicho punto C, en el cual serán tangentes las dos curvas circulares que lo han de formar.

Unamos para esto C con B y con A, si luego trazamos por dichos puntos B y A horizontales, éstas irán á cortar á las perpendiculares $D\,O'$, $E\,O''$, levantadas en los puntos medios de las $B\,C$ y $C\,A$, en puntos tales como O' y O'' que serán los centros de las curvas que cumplirán con la condición antedicha.

En efecto, por construcción, los triángulos $C\,O\,B$, $C\,O'\,B$ son isósceles y de una base $B\,C$ común, luego el arco descrito con el radio $O'\,B$ desde el centro O' tendrá que pasar por C. Pero los triángulos $A\,C\,O$, $A\,C\,O''$ son también isósceles y de una base común $A\,C$, y como á tales en uno de ellos por ejemplo tal como el $A\,C\,O''$ el arco que describamos desde el centro O'' con el radio $O''\,A$, pasará también por el punto indicado C. Además estas dos curvas pasando por C, serán á la vez tangentes, esto es, se acordarán formando una sola curva; y esto queda probado desde el momento que nos fijamos que los centros $O'\,O''$, están precisamente situados en línea recta con el punto C, que es lo mismo que decir, colocados sobre la dirección de la normal del punto C, pues superpuestas las normales, la perpendicular á ellas por el punto C, será común y esta es la tangente á las dos curvas

Es evidente que han de estar en una misma recta los puntos C, O' y O'', pues al trazar el triángulo isósceles $C\,O\,B$ tendremos que el ángulo que quedará formado en $O'\,C\,O$ será igual al $O'\,B\,O$ y este lo es por alterno interno con el $B\,A\,O''$ luego $O\,C\,O' = B\,A\,O''$ lo cual nos indica que cuando construyamos el isósceles $A\,C\,O''$ el lado $C\,O''$ se confundía con el $C\,O'$ pues ambos han de formar el mismo ángulo con la vertical $C\,O$.

228. Dada la abertura y la línea C D y sobre ella el punto E en donde se verifica el acuerdo de los dos arcos que componen el arco por tranquil, construir éste encontrando antes la linea de arranque.

Para esto (Fig. 130) prolonguemos las verticales que pasen por los puntos de arranque incógnitos, hasta cortar respectivamente en D y C á la línea dada $C D$. Si haciendo luego centro en los puntos D y C y con los radios $D E$, $C E$ trazamos dos arcos de circunferencia $E B$, $E A$, hasta que corten el primero en B á la vertical que pasa por el punto D y el segundo en A á la vertical que pasa por el punto C; entonces la recta que una los puntos A, B, será la línea de arranque y con ella podremos trazar el arco por tranquil y en efecto, si bien consideramos estas sencillas construcciones, vemos que siendo $E D = B D$, las perpendiculares $B O$, $O E$ á las líneas $D B$ y $D E$ han de ser tales que su punto de intersección O ha de encontrarse en la bisectriz del ángulo $E D B$, y por consiguiente tendremos $O B = O E$ luego al trazar el arco de centro O y de radio $O B$, éste ha de pasar por E siendo tangente respectivamente en B y en E á la línea de apoyo $D B$ y á la línea del acuerdo dada en $D C$. Por la misma razón inferiremos que el arco $A E$ de centro O' ha de ser tangente en A á la línea de apoyo y en E á la misma línea $C D$, resultando así, que los dos arcos tienen la tangente común en E, cual resultado podía ya también inferirse desde el momento de estar situados los centros O, O' en la misma perpendicular levantada en E á la $C D$.

229. Dada la abertura, la línea de arranque A B y la dirección C D de la línea de acuerdo, encontrar la verdadera línea del acuerdo, el punto donde este se verifique y por último la construcción del arco por tranquil.

La resolución de este problema (Fig. 131) queda reducida á referir este caso al anterior, lo cual se conseguirá fácilmente recurriendo á la homología de figuras semejantes. Para esto, haciendo centro en D y con el radio $D B$ construyamos un arco $B G$ hasta que corte en G á la línea auxiliar $C D$, haciendo otro tanto con el centro C, el radio $C A$ y el arco $A H$, si estuviéramos en el caso anterior G y H, habrían de confundirse. Si encontramos pues una línea paralela á $C D$, y en ella situado un punto en que aquel requisito se satisfaga, habremos resuelto la cuestión. Para ello, quedará todo reducido á unir G con B, así como H con A y el punto

de intersección I de estas dos rectas será el punto de acuerdo de los dos arcos, por el cual conduciendo la $E F$ paralela á la $C D$ será la tangente común. Evidencian estas propiedades, la semejanza de los triángulos $G D B$, $I F B$, pues en el primero el lado $G D = D B$ luego en el segundo $I F = F B$. Los otros dos triángulos $G H A$, $E I A$, por ser semejantes, podremos concluir también que $E A = E I$, por lo que estamos ya exactamente en las mismas circunstancias que en el caso anterior y como á tal podremos construir el arco por tranquil con aquel mismo procedimiento.

230. Construir un arco por tranquil conociendo la abertura, la línea de arranque y la condicion que la tangente común á las dos curvas componentes del arco ha de ser horizontal.

En la (Fig. 132) $A C$ es la luz, A y B los arranques. Trasládese $B C$ en $C D$ á continuación de $A C$; tómese la mitad de $A D$ y así se obtendrá el punto E, levántese la perpendicular $E F$ sobre la cual se tomarán una en pos de otra, dos distancias, la una la $O E$ desnivel de los arranques y la otra $O F = O B$. Con esta construcción hemos obtenido la distancia $E F = A E$ y por lo tanto haciendo centro en O con el radio $O B$ podremos trazar el cuadrante $B F$, así como haciendo centro en E con el radio $E A$ trazaremos el otro cuadrante $A F$ y ambos se acordarán en F por tener una tangente común ó sus centros en una misma perpendicular á la tangente del punto F; además, las normales $F O$, $F E$ superpuestas siendo verticales; la tangente será horizontal.

231. Construcción de un arco por tranquil dados los dos puntos A y B del arranque y empleando un número determinado de arcos de círculo iguales y cuya diferencia de sus radios sea en todos ellos constante.

Si en la (Fig. 133) se traza una vertical b s igual á la diferencia de nivel de los puntos de arranque A y B; y tomándola como diámetro se describe una semicircunferencia, en ella podemos siempre circunscribirla un polígono regular tal como b o o' o''-o''', etc., tangente por lo mismo á la propia curva. En la primera y última división consideraremos no más el semilado del polígono. Efectuada esta prévia operación colóquese el semilado o b en o c, prolongación del lado o' o, valiéndose del arco b c, cuyo centro está en o, la suma que resulta o' c, de estas líneas, trasládase en o' d prolongación del

lado $o''\,o'$ haciendo centro en o' y con el radio $o'\ c$, hágase lo mismo con la $o''\ d$, que se trasladará en $o''\,e$ y así sucesivamente, hasta obtener por fin la s-a, que será la rectificación de la semicircunferencia, así como la curva b-c-d-e, etc., la envolvente de la misma curva. Encontrada que sea la rectificación a-s, se encontrará cual es su diferencia para con respecto á la $A\ L$, luz de la abertura, y tomando la mitad de esta recta colóquese una de estas mitades en $A\ a$ y la otra en $s\ L$. Levántese la vertical del apoyo en el punto L, cual encontrará á la horizontal $o\ b$, en el punto B y haciendo centro en el punto O con el radio $o\ B$, trácese el arco $B\ C$ concéntrico con el $b\ c$, luego con centro en O' y el radio $O'\ C$, el arco $C\ D$ concéntrico con $c\ d$, luego el arco $D\ E$ concéntrico con el $d\ e$ y así lo mismo hasta haber llegado al último centro. De manera que en nuestro caso que hemos dividido la semicircunferencia auxiliar en seis partes iguales, cada uno de los arcos $B\ C$, $C\ D$, $D\ E$, $E\ F$, etc., del arco por tranquil obtenido, será de 30,° todos tangentes dos á dos, esto es, cada uno de ellos acordando con el que le precede y le sigue, formando en su conjunto la curva tangente en los arranques á las verticales de los apoyos. Si bien consideramos el sistema fácil de su trazado, todo á quedado reducido á añadir á cada radio de curvatura de la envolvente del círculo, una cantidad constante igual á la b-B, semidiferencia entre la recta, desarrollo de la semicircunferencia, y la luz de la abertura, formando así nuestro arco por tranquil, una línea equidistante de dicha envolvente y siendo tal que cada radio de curvatura es igual á los siguientes valores, llamando l, el lado del polígono circunscrito.

$$Bb+\frac{l}{2},\quad Bb+\frac{3}{2}l,\quad Bb+\frac{5}{2}l,\quad Bb+\frac{7}{2}l \quad \text{etc.}$$

Sentaremos finalmente las siguientes observaciones. 1.° Si la diferencia entre la longitud de la semicircunferencia ó del polígono inscrito, dado caso que no se pase al límite, y la luz del arco sea muy considerable, la línea del resultado sería poco agradable á la vista y nó, de buen efecto. 2.° Si la longitud del polígono superara al ancho de la abertura (diferencia de altura entre los arranques, muy grande comparada con la luz) el problema sería imposible.

232. 2.° Recurriendo á un arco elíptico.—Si en la (Figura 134) $A\ B$ representa la línea de arranque y la $O\ O''$, la

vertical que pasa por el cento O, la cual nos precisa el punto O'' por el cual ha de pasar la curva, claro está que la cuestión quedará reducida á trazar una elipse cuyos diámetros conjugados sean $A\ B$ y $O\ O''$ y que por lo tanto tenga por tangentes las verticales de los apoyos A y B. Varios son los medios de que podemos disponer para trazar la elipse en estas circunstancias.

Uno de ellos consiste en trazar la circunferencia $A\ O'\ B$ con el centro O y el radio $O\ A$; de esta curva se escogen luego varias ordenadas tales como $C\ C'$, $D\ D'$, etc. así como la que corresponde al radio $O\ O'$. Uniendo O' con O'' la dirección $O'\ O''$, nos indica la que han de tener las paralelas $D'\ D''$, $C'\ C''$... etcétera las que cortando á las verticales $D\ D''$, $C\ C''$... etc. en los puntos D'', C''... etc., por los cuales pasa definitivamente la curva.

En efecto $A\ B = 2\ a'$, $o''\ o''' = 2\ b'$ son los dos diámetros conjugados que se dan (llamando, a', el semidiámetro en cuya dirección se cuentan las abscisas x, y b', aquel sobre el que se cuenten las ordenadas y,) y que forman el ángulo $o''\ O\ B$ conocido. Levántese la $O\ R$ perpendicular á $A\ B$ y que sea igual á $O\ O''$ construyéndose enseguida una elipse auxiliar sobre $A\ B$, $O\ R$ considerados como ejes. Hecho esto, para trazar por puntos la elipse que se pide $A\ O''\ D''\ B$, supongamos que d sea uno cualquiera de los puntos de la elipse auxiliar y y $d\ D$ su ordenada rectangular; tirando por D una paralela $D\ D''$ á $o\ o''$ y tomando sobre ella $D\ D'' = D\ d$ este punto D'' será uno de los de la elipse que se busca.

Así será, pues; existiendo entre las coordenadas rectangulares del punto d la relación $\frac{\overline{OD}^2}{a'^2} + \frac{\overline{Dd}^2}{b'^2} = 1$ porque a' y b' son sus semiejes también existirá entre las oblicuas del punto D'' la relación

$$\frac{(O\ D)^2}{a'^2} + \frac{(D\ D'')^2}{b'^2} = 1$$

por consiguiente el punto D'' pertenece á la elipse que tiene por diámetros conjugados $A\ B$, $O'''\ O''$.

Esto nos indica que hay que describir una elipse sobre los diámetros dados colocados perpendicularmente uno al otro y tomados por ejes y que después, es preciso inclinar las ordenadas hasta que formen el ángulo de los diámetros conjugados en $O''\ O\ B$.

Si comparamos ahora la elipse auxiliar $A\ R\ B$ con la cir-

cunferencia $A\ O'\ B$; sabemos que *La razón que existe entre las ordenadas perpendiculares al eje mayor y las correspondientes del círculo que tiene este eje por diámetro es la misma que guarda el eje menor con el mayor*, por lo tanto tendremos $\frac{D\ d}{D\ D'} = \frac{O\ R}{O\ O'} = \frac{O\ O''}{O\ O'}$. Además por la semejanza de los triángulos $O'\ O\ O''$, $D'\ D\ D''$ se tiene $\frac{D\ D''}{D\ D'} = \frac{O\ O''}{O\ O'}$ por todo lo que resulta $D\ D'' = D\ d$. Por todo lo que vemos que no hay necesidad de trazar la elipse auxiliar y que con el solo círculo podremos trazar la elipse según la construcción al principio referida.

Segundo procedimiento: (Fig. 135). La construcción de la elipse conociendo sus diámetros conjugados y el ángulo que forman entre sí puede resolverse en el siguiente teorema.

233. Teorema.—*Para determinar los ejes de una elipse, conociendo dos diámetros conjugados O M, O N y su ángulo M O N, es preciso trazar por M una paralela á N O, levantar la perpendicular M C igual á N O, hacer pasar por C O una circunferencia que tenga su centro sobre D E. Los puntos D y E harán conocer la dirección de los ejes, descríbase luego una semicircunferencia sobre el diámetro O E, la perpendicular M P A' dará O A' = a (eje mayor).*

Demostración: La recta $D\ M\ E$ paralela á $N\ O$, es tangente á la elipse (*) la perpendicular levantada en el medio $C\ O$ determina el centro de la circunferencia auxiliar. Si unimos el punto O á las extremidades del diámetro se tendrá $D\ M \times M\ E = \overline{M\ C}^2 = \overline{N\ O}^2$ así pues (**) las rectas $O\ D$ y $O\ E$ harán conocer la dirección de los ejes. Sobre el diámetro $O\ E$ describamos una circunferencia, bajando luego la perpendicular $M\ P\ A'$; así tendremos $\overline{O\ A'}^2 = O\ P \times O\ E$ (***).

(*) En virtud del teorema que dice: Las paralelas, trazadas á un diámetro por las extremidades de su conjugado; son tangentes á la elipse y recíprocamente, la cuerda de dos contactos de dos tangentes paralelas á un diámetro dado es el conjugado de este diámetro.

(**) Por el teorema: Los ejes de una elipse interceptan sobre una tangente cualquiera dos segmentos cuyo producto es igual al cuadrado del semidiámetro conjugado, al diámetro del punto de contacto.

(***) En un círculo, toda cuerda trazada por uno de los extremos de un diámetro es medio proporcional entre su proyección sobre este diámetro y el diámetro entero.

Esta igualdad nos indica (*) que $O\ A''$ es el valor del semieje mayor a, del mismo modo determinaríamos el semieje menor $b = O\ B = O\ B''$.

Puede este trazado verificarse también por el método de Mr. Julienne explicado en la página 199, párrafo 207 de nuestro tratado de Gnomónica.

234. Arco por tranquil en el caso de tener como á datos: los dos puntos de arranque y la tangente culminante que ha de ser perpendicular á las líneas de apoyo

En la figura 136 se dan A y B *que son los arranques, la E C la tangente horizontal*. Prolónguese la vertical que pasa por el punto B, tómese $D\ C = C\ B$ y uniendo D con A tendremos la recta $A\ D$ que al cortarnos en F á la horizontal, nos hará conocer el punto de tangencia, por lo tanto la $F\ J$, será una cuerda paralela al diámetro conjugado incógnito que ahora vamos á buscar. Al objeto descríbase con el centro O y radio $O\ A$, la semicircunferencia $A\ G\ B$ y en ella el radio $O\ G$ perpendicular al diámetro $A\ B$; del mismo modo podremos trazar la semicuerda $H\ J$ del círculo, la cual responde al punto J. Se comprende ahora fácilmente que uniendo H con F y trazando la $G\ I$ paralela á $H\ F$, tendremos los triángulos semejantes $G\ I\ O$, $H\ F\ J$, por los cuales, siendo proporcionales sus lados, existe la misma relación entre las ordenadas $F\ J$, $H\ J$ y las $I\ O$ y $G\ O$, luego si $G\ O$ es la cuerda mayor de la circunferencia, la $I\ O$ lo será con respecto á la elipse, por lo tanto con el diámetro conjugado con el arranque $A\ B$.

Lo evidenciará la (Fig. 137). Pues si $A\ B$ es conjugado con $D\ C$, la tangente $C\ E$ será paralela al $A\ B$ y la del punto A será paralela al $D\ C$ encontrándose estas dos tangentes en un punto tal como E; si pues ahora trazamos la cuerda $B\ C$ y la prolongamos hasta cortar en F á la tangente $A\ E$, tendremos evidentemente $A\ E = E\ F$, toda vez que hemos formado dos triángulos semejantes $A\ B\ F$ y $B\ O\ C$ y como en ellos resulta que $B\ O = \frac{A\ B}{2}$ del mismo modo ha de suceder $A\ E = \frac{A\ F}{2}$ ó lo que es lo mismo $A\ E = E\ F$. Lo que nos

(*) Por el teorema: ¡Para una tangente cualquiera á la elipse, el producto de la abcisa del punto de contacto, por la abcisa del punto en que esta tangente corta al eje mayor, es igual al cuadrado del semieje mayor.

indica que si tuviéramos el diámetro $A\,B$ paralelo á la tangente $C\,E$ indefinida así como la $A\,E$ también indefinida y quisiéramos encontrar el punto de contacto C; todo quedaría reducido á prolongar la $G\,E$ hasta encontrar el punto E de corte con la $A\,F$ tomar luego $E\,F = A\,E$ y la unión de F con B nos dará la recta $B\,F$ que cortará en C á la $G\,E$ siendo dicho punto C el contacto que buscábamos.



CAPITULO NOVENO

ARCADA OJIVAL

235. A últimos del siglo XIII se complicaron los trazados de las arcadas, combinando y reproduciendo de muchas maneras el arco ojivo en un mismo ejemplar.

Así, una de tantas variaciones eran las usadas en la mayor parte de las Arcadas Claustrales, cuando una gran arcada cobijaba otras dos gemelas y cada una de estas cobijaba á su vez otras dos, resultando así seis arcos ojivos dentro de la matriz que delineaba el contorno del vano. Los espacios que quedaban entre todas estas líneas se ocupaban por calados en forma de rosas, graciosas perforaciones, insiguiendo el contorno de los lados de dichos arcos, en los cuales se adaptaban perfectamente aquellos elegantes florones de hojas lobuladas. En nuestra España, nos dan un notorio ejemplo las arcadas de los claustros de las catedrales de Oviedo, de Segovia, ó del monasterio de Poblet, etc. Nos proponemos aquí ir siguiendo la formación sucesiva de una arcada de esta clase, precisando los distintos períodos de su dibujo, tomándolo desde el embrión, hasta obtenerlo completamente concluido. Este caso podrá servir como ejemplo de otros análogos, demostrando que la mayor parte de detalles ya de ornato, ya de construcción, que al parecer se ostentan muy complicados, obedecen sin embargo á leyes geométricas bien sencillas.

En general en esta clase de construcciones, el molduraje empleado en sus distintas partes, sigue la misma ley, la misma forma, los mismos principios. Así puede subdividirse la clase de la arcada, según sea la moldura general que va á servir para ornamento y refuerzo de las partes integrantes.

De modo que la arcada bajo este punto de vista puede ser de *arista viva y caveto*. (Fig. *a*, Lám. 17). De *filete y caveto* (Fig. *b*). De *faja, filete y caveto* (Fig. *c*.), etc. Para nuestra arcada escogeremos el primer caso; esto es la moldura será en su sección recta, de la forma de la (Fig. *a*) de arista viva y caveto.

236. El dibujo de la arcada empieza (Fig. 153, Lámina 17) señalando los distintos compartimentos, solo una línea en cada contorno, esto es, lo que se llama en esta clase de dibujos, *trazado á simple línea*. Esta línea que no es más que la proyección vertical de la arista viva de moldura, es á la vez eje de todas las demás líneas compañeras equidistantes de ella. Siendo *A B* la luz del vano, constrúyase la ojiva equilátera *A N B* con los centros respectivos *A* y *B* pudiéndose enseguida terminar la abertura por la parte superior, por memedio de la horizontal *F G*, si es que se quiera limitar la abertura por el rectángulo *A F G B*.

Si dividimos ahora en dos partes iguales *A D*, *D B* la luz total, se podrán describir desde luego los dos ojivos equiláteros *A H D*, *D I B* dentro de cada uno de los cuales y dividiendo cada uno de sus anchos en dos partes tales como *A C*, *C D* por una parte y *D E*, *E B* por otra podremos de igual modo obtener el trazado de otros cuatro ojivos equiláteros *A J C*, *C K D*, *D L E*, *E M B*. Todo el artificio vemos que consiste en ir subdividiendo por partes iguales cada uno de los arcos á medida que van presentándose, hasta llegar á tener dividido el hueco en el número de compartimentos que se crean más convenientes para el buen efecto y sólida construcción.

Más; intermedios entre todos dichos arcos, han quedado una serie de huecos irregulares, los que hay que ocupar regularizando lo posible las formas que los cierran, echando mano en general de arcos de circunferencia, ó circunferencias completas según sea la índole del calado. Así, la circunferencia de centro *O*, es apropósito para zanjar gran parte de la deformidad del hueco que existe entre el primer ojivo y sus dos pri-

meros gemelos, quedando una vez trazada ésta, los pequeños compartimentos *P N Q*, *R D S*, *P R H A*, *Q S I B*, algo más asequibles por sus formas y ley de simetría.

En el espacio triangular mixtilíneo *A N F* así como el de su simétrico, se prestan á trazar las circunferencias *O'*, *O"* tangentes respectivamente á los lados de dichos triángulos, en cuyo caso quedarán ya no más en cada hueco y empujados en los ángulos tres pequeños compartimentos triángulares tales como *T V N*, *U F T*, *U V A*.

Finalmente la parte comprendida entre cada ojivo de segundo orden y cada dos gemelos del tercero, existen huecos tal como *A J C K D H A* el que puede regularizarse construyendo el triángulo equilátero curvilíneo *J H K* quedando en los ángulos del primitivo espacio los triángulos curvilíneos simétricos *A J H*, *D K H* y el curvilíneo regular *J C K*.

Si nos fijamos bien en el sistema seguido en la división sucesiva de compartimentos, podremos deducir que todo el artificio consiste en introducir en los centros, grandes figuras geométricas de forma regular con el objetivo de llamar sobre sí mejor la atención del espectador, distrayéndole algún tanto; de las figuras irregulares laterales las que á su vez quedan algún tanto atenuada la deformidad, recurriendo ya á la simetría, ya también al trazado de las líneas compañeras que reducen el hueco y enriquecen la moldura.

Como se ha podido observar, los centros de los arcos se han tomado sobre las mismas líneas de imposta ó de arranque, pues en este caso es cuando los arcos se presentan más proporcionados y elegantes. No dejan de presentarse casos en donde los centros de los ojivos interiores están debajo de la línea de arranque del arco principal, pues esta disposición hace que los arcos no sean tan esbeltos, no produciendo por lo mismo impresión tan agradable Por lo demás, nunca los centros de dichos arcos aparecen sobre la línea de arranque del arco principal.

Construída ya de simple línea en la (Fig. 154) ésta va á ser la clave de las otras dos que van á seguir transformándose sucesivamente hasta obtener la definitiva de resultado (Figura 156) siendo las operaciones sumamente sencillas.

237. En efecto la (Fig. 153) se transformará en la (Figura 154) con solo trasladar de una á otra parte de las simples líneas tomadas como á ejes, las distancias iguales tales como

$a\ b = a\ c$ que tengan en la misma la medida lineal que expresa el ancho de la proyección del caveto; trazando luego la serie de arcos concéntricos pasando por estos puntos, llegaremos á concluir el trazado de las líneas compañeras Más éstas, indicando ya el límite y contorno de dichos cavetos se irán sucesivamente cortándose é interrumpiéndose resultando así las líneas de intersección tales entre ellas como *s f*, *t e*, *m n*, *q n*, *p n*, *l k*, *g h*, etc.

Sólo faltará alojar en los huecos que hayan quedado en esta figura los dibujos y formas más apropósito y así una vez éstos ultimados obtener la (Fig. 155) del definitivo resultado.

238. Construcción del Trébol A.—Divídase la circunferencia en seis partes iguales (Fig. 156) construyendo enseguida el triángulo equilátero *a b c*, la intersección de cada uno de sus lados con los diámetros de la circunferencia que le son perpendiculares, nos determinará los centros *O*, *O'*, *O"* de los círculos y sus concéntricos, expresando su separación el caveto correspondiente. Estos círculos concéntricos se deben trazar en la (Fig. 155) á una y otra parte de la línea media para así formar el ancho de toda la moldura. Estas molduras se irán interrumpiendo entre sí dándonos las líneas de intersección tales como *a b*, *b c*, advirtiendo no más, que al objeto de que la intersección de los cavetos no concluya con una línea de tan poco enlace como sería (Fig. 156) la *m n* prolongada hasta encontrar la *p q* en su punto medio, se suele terminar en el vértice *n*, con un triángulo *n q p* que se introduce adrede para la mejor terminación. Muchas veces, este triángulo alcanza toda la extensión marcada en *r s t*.

239. Construcción del rosetón B, á cuatro festones.—(Figura 157). Regularmente se forma por medio de la combinación de tres cuadrados inscritos entre sí, en el sentido de las diagonales. Divídase la circunferencia *a c b h* en cuatro partes iguales, inscribiéndole luego el cuadrado *a c b h*, á este último se le inscribirá el segundo *d e m t* diagonalmente, y por fin á este último se le inscribirá el tercer cuadrado *o-o'-o"-ω* uniendo respectivamente los puntos de intersección de los lados del segundo cuadrado con las diagonales del primero. Los puntos *o-o'-o"* ω, serán los centros por medio de los cuales se trazará con un mismo radio *o c* los cuatro arcos de circunferencia tangente á la circunferencia mayor, pudiéndose trazar también las concéntricas interiores y exteriores que limitan los cavetos. En la mitad inferior (Fig. 158) los arcos interiores se han trazado de un radio algo menor al objeto de que no lleguen á cortarse ni sean tangentes, estando terminados por la pequeña línea *x z*.

240. Construcción de Trébol apuntado C.—El triángulo curvilíneo del hueco está expresado (Fig. 159) en detalle *o' o" o* siendo los lados del mismo los que nos expresan las aristas salientes del trébol; con el auxilio del ancho del caveto es que podremos trazar ahora el triángulo curvilíneo interior *a d b* equidistante del primero y de aquí el triángulo *d a b*. Las alturas de este triángulo equilátero se cortarán en un mismo punto *C* y haciendo centro en él, con un radio igual á *C f* (mínima distancia del punto *C* á uno de los lados del triángulo *d a b*) trácese una circunferencia é inscrito en ella el triángulo ω' ω" ω que serán equidistantes sus lados del triángulo mayor. Entonces, dichos puntos ω ω' ω" serán los centros de las partes circulares de cada una de las hojas del trébol. Los puntos de tangencia tales como *r*, *s* en donde terminan estos arcos, quedan definidos con solo unir *O'* con ω y la recta así obtenida y prolongada nos cortará *r* y *s* á los lados curvilíneos que forman los dos triángulos de este nombre. Por la parte inferior quedan terminadas estas curvas, la una en el punto *f* al encontrar la línea de altura *d n* y la otra en el punto *g* al encontrar el lado ω ω" del triángulo interior ω ω' ω" ó en su lugar toda línea tal como *g h* trazada paralelamente á dicho lado ω ω" y á una distancia tal que pueda dar lugar á poder truncar la concurrencia de los dos cavetos. Los cavetos exteriores se trazarán insiguiendo el mismo método de la equidistancia tal como se vé en la (Figura 155) expresando el conjunto. Según esto cada arco tal como *a r g* está compuesto de dos partes el uno *a r* de centro *o'* y el otro *r g* de centro ω.

241. Trazado del falso Trébol que cobija la pequeña ojiva D.—Sea el detalle (Fig. 160) *a b c* el arco ojivo matriz de la arista saliente; el triángulo *x v z* no es equilátero, aun que obedezcan á él los puntos límites *a*, *b*, *c* de la ojiva. Los puntos *x*, *v*, *z* se han obtenido trazando *v z*, *v x* con los respectivos centros *a*, *c*, una vez que se haya dado la equidistancia con la arista saliente ó lo que es lo mismo la proyección del

ancho del caveto inscríbase en el triángulo $x\ v\ z$ una circunferencia la cual cortará en o á la vertical $v\ n$. Haciendo centro en los puntos a y b y con el radio $a\ O$ descríbanse los arcos $O\ h'$, $O\ h$ que cortarán respectivamente en O', O'' las perpendiculares que parten de z y x hacia los lados opuestos $x\ v$, $z\ v$, entonces el punto O será centro de los arcos $J'\ t$, $J\ u$ y los puntos O', O'' serán los centros de los arcos que parten de los puntos s, r. Con iguales centros se trazarán las líneas medias ó sean las salientes así como las equidistantes exteriores.

Los puntos donde terminan en $J.\ d.\ J'.\ d'$. se determinan como en el caso anterior.



CAPITULO DÉCIMO

ARCOS ADINTELADOS.—DESPIEZOS GENERALES

242. Se ha visto empleado el dintel desde lo más antiguo del arte de construir; en Egipto como en Grecia se ostenta ya coronando puertas, ya también formando, estos macizos y severos arquitrabes constituyendo una sola pieza dependiendo la separación de los apoyos ó luz correspondiente, del grado de resistencia del monolito que en forma de paralelepípedo lo informaba. Más como hubiera necesidad andando el tiempo, de tener espacios más desahogados, vanos más anchurosos que permitieran dar holgado desarrollo á la circulación, ingreso de luz y obtener el interior con mejores condiciones de ventilación, se aguzó el ingenio para aumentar la separación de los pies derechos sin que fuera en detrimento de la resistencia del dintel, aprovechando para esto, las mejores condiciones y esfuerzos más convenientes á que pueden sujetarse las piedras Si se considera (Fig. 138, Lámina 13) un prisma A figurando una pieza adintelada sostenida por los apoyos B y B' y se las sujeta á un peso ó esfuerzo en el sentido de la gravedad, cuyo esté representado por $P\ F$, podrá suceder que de tal manera sea dable aumentar dicho peso, hasta que llegue á un límite que no pueda la pieza A con él, traduciéndose su impotencia con la rotura inmediata. Y es que la piedra cuando se la sujeta á un esfuer-

zo de flexión, en absoluto es refractaria al mismo, no la admite y antes de obedecer al mismo, como lo hace por ejemplo la madera que va deformándose lentamente á medida que se le va acumulando nuevo peso, pasando por una serie de deformaciones antes de llegar á la rotura), se agrieta ó rompe de momento imposibilitando la solidez de la construcción superior.

Y este carácter especial de las piedras va acentuándose más y más á medida que el empleo de las piezas de piedra se extiende dándolas mayores dimensiones en longitud para que vayan salvando espacios más considerables.

243. La experiencia ha demostrado que si bien las piedras no resisten al querer producir en ellas un esfuerzo de flexión, en cambio su resistencia al aplastamiento es grande y de ello dimanó se tratase de sacar partido de semejante propiedad, disponiéndolas en obra de modo que obedecieran y estuvieran situadas en posiciones favorables para la resistencia de aquellos últimos esfuerzos.

Estos mismos accidentes repetidos en varias ocasiones aleccionarían sin duda á los constructores, haciéndoles entrever el medio para evitar en lo sucesivo tamañas contrariedades; y partiendo del principio, que la rotura se verificaba por no encontrarse el material en disposiciones favorables de deformarse, para así seguir el movimiento del asentado de la obra, concebirían el fraccionamiento artificial en varias piezas, de lo que antes era masa monolítica, facilitando así por medio de cortes especiales, el relativo é imperceptible movimiento en los contactos que sustituir debían á la rotura, por prestarse ya en esta disposición, á oponerse á todo esfuerzo nocivo ya que de presentarse éste, se había facilitado á las piezas el juego necesario para ir siguiendo el movimiento que las circunstancias imponían.

244. Todo pues quedaba reducido á estudiar las formas más adecuadas que habían de darse á las partes parciales, para que con ellas, la disposición que se las diera y la misma naturaleza ingénita del material vinieran en condiciones para resistir al peso y esfuerzos á que se le destinara, y cuanto más estos aumentaran más aquellas redoblaran su trabajo, haciendo resaltar los efectos de la resistencia en sus favorables resultados.

Sea la (Fig. 139) la representación de una puerta sostenida por los apoyos verticales J, J' llamados *jambas*, el grueso del dintel es tal como $g\ l$; dividamos la luz $g\ c$ en un número impar de partes iguales, $g\ e$, $e\ d$, $d\ a$, etc., haciendo centro en g y en c y con un radio igual á la luz $g\ c$, describamos por la parte inferior dos arcos que se cortarán en O, es por lo tanto este punto el vértice de un triángulo equilátero y hacia el cual haremos concurrir una serie de rectas que partan de los anteriores puntos de división, aprovechando de las mismas rectas, las partes $a\ a'$, $b\ b'$, $c\ c'$, $d\ d'$, etc., comprendidas en el grueso del dintel. Esta disposición dividirá al dintel en tantas piezas como partes se ha dividido la línea de luz y dichas partes serán tales y apropósito para resistir con ventaja al esfuerzo á que se sujeta toda esta construcción. En primer lugar, observemos que la forma que para cada pieza resulta es un trapecio, cuya parte más ancha está en la parte superior y la más estrecha en la inferior, sucediendo que las piedras afectan la forma de una cuña; esto en cuanto á forma. Segundo en cuanto á la disposición; supongamos que P es el punto de aplicación de la fuerza F resultando de la gravedad que obra sobre la piedra $a\ b\ b'\ a'$, descompongamos esta fuerza en dos, la una F'' perpendicular á la junta $b\ b'$ y la otra F' paralela á la misma junta. Para obtener la estabilidad conviene oponerse á estas fuerzas, pues bien: en cuanto á la primera F'' que es normal á la junta antedicha obra por compresión, tiende pues al aplastamiento de la piedra y como la resistencia de ésta es muy grande, trabajando en este sentido aquella componente, quedará con toda evidencia contrarrestada; en cuanto á la segunda componente por tener la misma dirección que la junta, obra por resbalamiento, esto es, tendencia á deslizarse para salir del sitio en donde se la destina, más este accidente queda completamente solventado, habiendo dado de antemano á la piedra la forma de cuña y como que la presión ó empuje de la pieza que se considera, se trasmite á la siguiente y ésta á la sucesiva hasta venir á trasmitirse al pilar, de aquí es, que mientras éste tenga las debidas condiciones de espesor para oponerse á aquéllas, el dintel ha de quedar en perfecto equilibrio. He aquí pues como el esfuerzo, perjudicial en extremo de la flexión se ha venido á sustituir por medio de un estudiado despiezo por un esfuerzo de aplastamiento admitido ventajosamente por el material pétreo. Se designan con distintos

nombres las piezas que forman del dintel. Llámase *clave* á la pieza A del centro, sus colaterales tal como B son las *contraclaves*, las piezas tal como D que forman la parte superior de las jambas y reciben las piezas del dintel son los *salmeres* y en cuanto á todas las demás piezas comprendidas entre los salmeres y contraclaves se designan con el nombre ordinario de dovelas. El centro O es lo que se llama eje de juntas, por que representa sobre el plano de paramento del dintel una recta perpendicular al mismo, por la cual pasan todos los planos de junta $a\ a'$, $b\ b'$, etc., etc., todos también perpendiculares á dicho paramento.

Y esta disposición de dar á las piezas la forma trapecial se distingue de una manera muy embrionaria en muchos casos de la antigüedad (Fig. 140) como se ha visto en uno de tantos, en la *Puerta de Signia* (Pág. 43, Fig. 24) y aun que iniciándose la disposición de la piedra para que obrara la compresión; sin embargo de constituirla una sola pieza, dá de todos modos semejante disposición una idea en lo sucesivo en aplicar esta forma al dividir la masa total en partes parciales.

245. La práctica y experiencia interviniendo en los casos posteriores, dió medios bastantes para aumentar la resistencia de los dinteles valiéndose de despiezos y cortes especiales. Hemos visto que conseguíamos un completo equilibrio con el despiezo llevado á cabo por medio de las juntas concurrentes, mientras empero nos aseguren la resistencia necesaria las jambas de la puerta; estudiando pues lo que sucede en el concepto de no reunir éstas las condiciones necesarias de contrarresto, es que se han podido descubrir ingeniosos procedimientos de corte, que enlazan con más ventaja las piedras, dándolas á la vez más estabilidad, asegurándolas más aprisionadas á dichas jambas. De la observación ha resultado (Fig. 141) que siendo impotentes las jambas para el contrarresto, éstas se inclinan hacia la parte exterior apoyándose en sus aristas exteriores, levantándose las interiores, deformándose toda la abertura, tomando distintas disposiciones las varias partes del dintel antes de llegar al derrumbamiento. Todas las piezas comprendidas entre la clave y el salmer, muévense compactas abriéndose la junta por la parte inferior que corresponde al contacto con la clave y por la parte superior que corresponde al contacto con el salmer. En tal estado y á medida que las jambas van cediendo con motivo de la dirección de los únicos contactos en a y en c, la clave va bajando hasta que perdida por completo la compresión viene la ruina del sistema; y estos accidentes son tanto mayores cuanto mayor sea el ángulo $c\ p\ d$ que obra como si en el punto p fuese el punto de aplicación de la dirección de los empujes $p\ c$, $p\ d$. Esto hará comprender fácilmente que para la obtención de las líneas $c\ p$, $d\ p$ que se encuentren en las condiciones favorables con respecto á la estabilidad del sistema, conviene que las juntas de las dovelas vayan aumentando en su extensión desde el salmer á la clave, dando así pie al compacto empuje de todo el dovelaje (Fig. 142) con arreglo á la dirección $e\ a$, cual sería más ventajosa por dar menos empuje si colocarse pudiera en $a\ e'$ y $b\ e'$, limitándose las juntas en cada una de estas líneas según se adoptase alguna de ellas, más como no sea dable terminarlas según estos límites en razón de que en las inmediaciones de los arranques a y b resultaría no ser posible la formación de la pieza que apoya contra el salmer, de aquí es, que se tome un punto tal como d situado sobre la junta del salmer y á una distancia conveniente del punto de arranque b, haciendo partir luego las líneas límites de junta, del punto d concluyendo en otro más alto situado en el eje de la puerta tal como e, e' quedando limitadas las juntas en el primer caso en $b\ d$, $f\ f'$, $g\ g'$, etc., y en el segundo en $f\ f''$, $g\ g''$, $h\ h''$, etc. Pero aun hay más si nos fijamos en la (Figura 143, Lám. 14) que nos muestra el *sistema de montacaballo* en donde se puede observar que al terminarse las juntas en los puntos a', c', d', etc., se limitan las piedras por una serie de planos horizontales, de modo que cada piedra formando un polígono irregular de seis lados ofrecerá un ángulo entrante en a', d', c', etc., por medio del cual se apoya sobre el saliente de la piedra que sucesivamente viene en pos de ella, saltando ó montando por así decirlo, sobre la misma, razón por la cual se las ha dado cuando afectan esta particular forma, el nombre de salta ó montacaballo. Con esta disposición se obtiene la ventaja de que las piezas solicitan más á las que siguen, á la concurrencia del eje general de juntas, aumentan también en el peso superior la presión vertical que obra sobre las jambas y que gracias á ella, quedan éstas retenidas en su sitio y contrarrestado con exceso el empuje del dovelaje.

246. Otras veces (Fig. 143) para evitar el inconveniente que presenta la puesta en junta del montacaballo (toda vez que si el ángulo entrante y saliente no se ajustasen ó coincidiesen de una manera exacta en toda su extensión, sería fácil se rompieran las piedras á la menor señal de movimiento extraño por la parte del ramal horizontal en que se apoya) se suprime el ramal horizontal de apoyo, conduciendo las juntas verticales por los mismos puntos *b'*, *h'*, *g'*, etc., obteniendo de este modo, las dovelas *g h h' n g'* cuya disposición no hay que dudar es mucho más ventajosa que la primera, bajo el punto de vista de permitir un asiento más holgado para las eventualidades que ocurrir pudieran en los asientos tan frecuentes en una obra cualquiera. Debido á que las dovelas resultan ser polígonos irregulares de cinco lados, es que se ha dado el nombre á este medio particular de aparejo de *sistema de dovelas pentagonales*.

247. **Sistema de redientes.**—Algunas veces no se dispone de suficiente altura para disponer el aparejo de los montacaballos, y no se quiere en absoluto renunciar á las ventajas de concentración de fuerzas que ofrece y en este concepto se disponen (Fig. 144) una serie de resaltos *f' m n f*, *g' q r g''* etcétera, dividiendo la junta en dos por medio de una pequeña faceta horizontal *m n*, de unos cinco centímetros de ancho, la cual permite la retención sucesiva de unas piezas con otras, análogamente como lo hacían los montacaballos. Además tal puede ser la acuidad de las juntas *m f'*, *q g'*, *s h'*, etcétera, con la parte *a b* inferior del dintel, que conviene evitarlo para subsanar la destrucción de la pieza alrededor del vértice del ángulo en donde el espesor es insignificante, entonces puede acudirse á un sistema de cortes verticales *f f'*, *g g'*, *h h'*, etc., los cuales se extienden hasta la línea auxiliar *a' b'* conducida paralelamente á la *a b* á la distancia de unos ocho centímetros. Así las piezas afectan la forma tal como *f'' n m f' f g g' q r g''*, aumentando con estos resaltos el frotamiento de los contactos y así adquirir más fuerza en la resistencia. Como quiera que en algún caso se crea que puedan presentar mal aspecto los redientes citados, no armonizando estos cambios de dirección con el conjunto de líneas de fachada, se ha tratado de introducir estos redientes en el espesor del dintel interesando no más las tres cuartas partes del grueso (Fig. 144') mientras que por la parte anterior ó de

paramento se presenta la junta *d' d''*, *e' e''*, etc. continua, esto es, sin ninguna clase de interrupción, puesto que si ésta existe, obra no más en la parte oculta expresada por *y x z*, *y t u*, etc. Para mejor comprensión de este detalle, véase la (Fig. 144'') que representa una de las dovelas que lleva consigo en sus partes laterales una pequeña caja *z' z d'''* *y y' d*^{IV} que sirve de apoyo al apéndice en resalto de la pieza que le precede y por otra la espiga *c*^{IV} *c'''* *k k'* destinada á alojarse en la cavidad preparada á la pieza siguiente.

248. Variados son estos refuerzos empleados en el grueso del dintel, mostrándonos la (Fig. 145) otro ejemplo de artificioso corte que consiste en hacer solidario con la junta un pequeño prisma triangular mixtilíneo proyectado respectivamente en *h' p q*, *b' m n*, etc., las líneas *p q*, *m n* son pequeños arcos de circunferencia trazados desde los centros *h'*, *b'* y con los radios *h' p*, *b' m* resultando con esto que dichos arcos *p q*, *m n* representan pequeñas superficies cilíndricas perpendiculares al plano vertical, terminando estos apéndices por la parte superior, reteniendo con bastante fuerza á las piedras en virtud de la parte convexa que afectan. La figura 145' demuestra en perspectiva, una de las dovelas armada de su espiga de retención.

249. No siempre al evitar los ángulos agudos que forman las juntas con el dintel, éstas están terminadas en una misma magnitud, por venir comprendidas entre dos planos paralelos, pues otras veces lo están como en la figura 146 por una serie de planos verticales *c c'*, *d d'*, *e e'*, etc., que disminuyendo en altura desde la clave al salmer, en donde se anula, en atención á no tener necesidad de reunir aquí aquel requisito, desde el momento en que la junta que producirá el ángulo agudo va unida invariablemente al salmer y éste, en el rincón del arranque, forma ángulo obtuso; aquí en este caso dichas juntas verticales terminan en una superficie cilíndrica perpendicular al plano vertical y que hemos de imaginar proyectada en *a' c' d' e' f' g' h' b*, arco circular trazado con el centro *O* y el radio *O a*.

250. Si hacemos atención en los procedimientos empleados en los despiezos anteriores, veremos que gran parte de los artificios empleados para secundar la resistencia de los

dinteles con despiezo, ha consistido en disponer los contactos de modo, que tiendan al aumento del frotamiento, esto es, que tengan de vencer las piezas más resistencia para deslizarse, al tender á salir fuera del alojamiento que tienen indicado por el aparejo. Obedeciendo á este fin, se han multiplicado los medios para obtener semejante resultado y uno de ellos es el *sistema de doble junta*. (Fig. 146). El nombre ya lo explica de por sí; cada junta se divide en dos, concurriendo cada una de ellas *d' n*, *n' r* á su centro respectivo, las unas en *O*, las otras en *O'*; cortándose entre sí según la recta horizontal proyectada en el punto *n* y formando las dos en su inclinación, un ángulo más ó menos abierto según que la junta esté más ó menos aproximada á la clave.

Este cambio de dirección que presentan las juntas en los puntos *j*, *l*, *n*, *q* es precisamente lo que produce mayor adherencia en las superficies, viniendo obligadas á vencer más resistencia en su trabajo de deslizamiento. Sin embargo, tiene varios inconvenientes este sistema, siendo el primero el mal efecto que han de producir estas juntas quebradas que aumentan la irregularidad en la figura de la dovela, complicándola con nuevos planos y ángulos. El segundo inconveniente quizá más importante que el primero, consiste ser más difícil en virtud de los cambios de dirección de las juntas, la labra exacta de los ángulos que han de yuxtaponerse, uno entrante y otro saliente y dicho se está, que si el labrado de estas superficies no está llevado con la exactitud que el caso requiere, puede ser muy fácil que en el asiento de la construcción ocurra la rotura de las piezas en las inmediaciones de los citados ángulos. Finalmente no se puede ocultar que el seguir este procedimiento, llevaría consigo excesivo gasto ya en la mano de obra, ya también en el cubo de piedra excesivo que menester sería para el desbaste.

Sin embargo dicho aparejo lo vemos empleado muy frecuentemente en las construcciones de cantería del siglo pasado. En Florencia vimos en el año 1879 un ejemplar de esta naturaleza en uno de los palacios antiguos y notables que se ostentan en dicha ciudad.

251. Cuando las juntas de las dovelas concurren todas al vértice del triángulo equilátero cuyo lado es la luz de la abertura, el sistema se llama *equialtero*, llamándose *sesquiáltero* (Fig. 147) cuando las juntas concurren al vértice

O'' de un triángulo isósceles cuya base es la luz de la abertura y cuya altura *m O''* está en relación con dicha luz como los números *3* es á *2*, para obtener pues este vértice *O''* bastará dividir la luz en dos partes iguales y conducir tres divisiones de estas sobre el eje, tales como *m O*, *O O'*, *O' O''* y *O''* será el vértice ó el punto donde se proyecta el eje por donde pasan dichas juntas.

252. Sistema de dovelas iguales.—(Fig. 147'). En este caso especial las juntas de las dovelas son paralelas entre sí, llevando la dirección de las correspondientes á la clave. Si pues escogido el vértice ω se traza la junta *d d'* de la clave todo quedará reducido á conducir las juntas *c c'*, *b b'*, *a a'* por los puntos *c*, *b*, *a* que sean respectivamente paralelas á la *d d'*, resultando así la figura de paralelogramos iguales por lo cual se ha originado el nombre de este sistema. Que este medio algunas veces empleado en construcciones del siglo anterior al actual es defectuoso, salta á la vista; pues las piedras no viniendo afectadas de la forma de cuña, no les es dable trabajar como aquellas que afectándola; se oponen á todo resbalamiento.

253. Sistema de cortes falsos.—(Fig. 148). En esta clase de aparejo las líneas de junta aparecen verticales en las caras de paramento, tal como indican las líneas *e f*, *d g*, más como no sería posible que las dovelas se sostuvieran con la disposición así adoptada para dichas juntas, de aquí es, que se establezcan en el espesor del dintel los cortes inclinados señalados de puntos en *i e*, *j h* teniendo así estos, la disposición de las juntas que hemos visto en los demás dinteles. Así es que considerando la proyección horizontal de la piedra vista por la parte superior, en ella podremos apreciar los resaltos que forman entre sí las juntas verticales, combinadas con las inclinadas dándonos la forma de la plantilla superior en *f f' e e' f'' f''' g''' g'' h' h g' g*. En la proyección vertical tenemos los triángulos *e i f*, *g j h* que indican las plantillas de los resaltos antedichos los que estando situados en planos verticales se proyectan horizontalmente en las pequeñas trazas de los mismos *e f'*, *g' h*, *g'' h'*, *e' f''*. La (Fig. 148') muestra en perspectiva, la piedra que forma clave la cual lleva los dos apéndices laterales é inclinados que han de ajustarse á las cajas respectivas de las contraclaves, diferenciándose esta única

pieza de todas las demás, cuales han de llevar consigo alternativamente un apéndice por una parte y una entalladura por otra tal como muestra la figura 148″ representación de la dovela B. Y si nos fijamos solamente en el salmer, éste contendrá no más una entalladura (Fig. 148‴). Como se comprende este género especial de aparejo aunque efectuado en varias ocasiones, resulta no ser ni lógico, ni práctico, parece ser él, un alarde de osadía y atrevimiento del constructor; lo que es en realidad un engaño manifiesto por aparecer las juntas en la parte vista en posición impropia para el sostenimiento, por cuya razón se llaman falsas, esto es, como si se dijera inútiles para el fin á que están destinadas, necesitando por lo tanto recurrir á otras auxiliares y ocultas para que con su trabajo hagan estable la construcción. No es pues digno de recomendación dicho despiezo por ser de principio inconcuso y de razón natural que todo detalle que aparezca tenga la debida utilidad.

DINTEL EN UN MURO RECTO

254. En el muro recto $L\ T\ I\ Z$ (Lám. 15, Fig. 149) que representa su grueso requiere establecer una puerta terminada por un arco adintelado. Tres son las partes que generalmente constituyen la construcción de la misma; la primera es la puerta propiamente dicha proyectada horizontalmente en el rectángulo $I\ G\ H\ J$ y en proyección vertical en $I\ G''\ H''\ J$, la segunda es lo que se llama la mocheta que sirve para alojar las dos medias hojas de la puerta con el auxilio de sus goznes y se proyecta horizontalmente en el rectángulo $C\ D\ F\ E$ que corresponde verticalmente al rectángulo $C'\ C'''\ D'''\ D'$ y finalmente la tercera parte la forman los derrames de la puerta que son los planos verticales $A\ C$, $B\ D$ ambos convergentes de manera á ensanchar el paso hacia la parte posterior $Z\ Y$, planos sobre los cuales vienen á superponerse las dos medias hojas antedichas al abrirse la puerta, girando aquellas alrededor de sus goznes, hasta venir á coincidir con dichos planos de derrame y así no estorbar ni interrumpir el paso; este es el motivo para que la extensión de los derrames $A\ C$, $B\ D$ sea cuando menos igual á la mitad de la luz de la abertura. Además, cuando la puerta adintelada es de alguna importancia se suele terminar también por la parte superior por un plano inclinado, tal como el que se proyecta vertical-

mente en $C'''\ D'''\ B'\ A'''$ el cual corta á los derrames en las rectas $A'''\ C'''$ y $D'''\ B'$, toda esta última parte está proyectada horizontalmente en el trapecio $A\ B\ D\ C$. Así formada la puerta con estos elementos se le comunica más importancia y grandiosidad con arreglo á la que tenga el edificio de que forma parte. Para la mejor inteligencia de la figura se ha señalado con un rayado toda la parte que concierne el grueso de las jambas. Suponemos que la altura total alcanza á la horizontal $R\ d$.

255. Para proceder al despiezo empezaremos dividiendo, según se ha visto ya; la línea $G''\ H''$ en un número impar de partes iguales y trazando enseguida el vértice O del triángulo equilátero, este punto representará según sabemos una recta perpendicular al paramento, por la cual se harán pasar todas las juntas tales como $G''\ S$, $M\ Q'$, $n''\ K$, etcétera, todas por lo tanto perpendiculares al plano vertical confundiéndose con dichas líneas, todas las figuras producidas por las secciones de estos planos con las distintas superficies que encuentran á su paso. Así por ejemplo, analizando uno de estos planos tal como el $M\ Q'$ podremos inferir que empieza cortando al plano horizontal superior $R\ d$, según la horizontal $Q\ Q'$, luego corta al paramento posterior $Z\ Y$ según la recta $Q'\ P'$-$Q\ P$, al derrame superior según $P'\ N'$-$P\ N$, al plano horizontal superior de mocheta $C'''\ D'''$ según la N'-$N\ N''$, al plano vertical de mocheta según la recta $N'\ M$-$N''\ m$ y al intradós de la puerta según la recta M-$m\ m'$ y finalmente al paramento anterior según la línea $M\ Q'$-$m'\ Q''$ con la cual queda cerrada la figura de corte, proyectada en su virtud en el plano horizontal según el polígono $Q\ P\ N\ N'\ m\ m''\ Q''\ Q$, la cual constituye la forma que adquiere la junta y que encontrada su verdadera magnitud, proporcionará la plantilla necesaria para el labrado de la piedra de que forma parte. Precisa según esto, deducir la verdadera magnitud, la que será muy fácil encontrar, girando el plano $M\ Q'$ alrededor del eje M perpendicular al plano vertical, hasta tanto que se coloque paralelo al plano horizontal en $M\ q''$. Al efecto la arista proyectada en Q'-$Q''\ Q$ gira describiendo el arco $Q'\ q''$ colocándose en $q'\ q$, el punto P' describe el arco $P'\ x$ y se coloca en p, el punto N' viene después del giro en n''-$n\ n'$, la recta $M\ N'$ se rebate en $M\ n''$-$m\ n'$ y finalmente la charnela $M\cdot m\ m'$ queda inmóvil en este giro,

resultando así la plantilla rebatida en la figura $m' m n' n p q q' m'$. Por idéntico procedimiento encontraríamos la verdadera magnitud de las demás plantillas de junta.

256. Labra.—(Fig. 149'). Tomemos por ejemplo la dovela que está apoyada sobre el salmer y que viene representada en proyección vertical por el pentágono irregular $Q' R S G'' M$, construyamos ante todo un prisma recto cuyas bases sean iguales á esta figura pentagonal y cuya altura sea la distancia $Q Q''$ que separa los paramentos anterior y posterior, esto es, el grueso del muro. Este prisma auxiliar lo tenemos representado en la figura 149' en $R S G M M'' Q' R' S' G'' G$ en una de sus bases, la que representa la parte posterior podemos colocar ya inmediatamente el polígono $U S R Q P$, exactamente igual al polígono expresado con las mismas letras en la (Fig. 149). En el plano de junta superior se colocará la plantilla que antes hemos encontrado en verdadera magnitud, haciendo de modo que los lados $P' Q'$, $Q Q''$ de la (Fig. 149) coincidan con los $P Q$, $Q Q'$ de la (Fig. 149') y en este caso la plantilla vendrá situada en $P Q Q' M'' M' N' N$; del mismo modo colóquese la plantilla de la junta inferior y ésta vendrá representada en $S U V V' G' G'' S'$. Dispuestas así las juntas se tienen los límites suficientes para proceder al desbaste necesario para la obtención de la piedra definitiva, para lo cual unamos M con G' haciendo luego pasar un plano por ella y por los M', N', G', V', así obtendremos la línea $N' V'$ arista de ángulo de la mocheta y con ella y las rectas $N N'$, $V V'$ se podrá limitar con facilidad el plano horizontal terminado por $N V V' N'$. Solo quedará reducido ahora á devastar todo lo que quede excedente de la piedra hasta que pueda hacerse pasar por $P N$ y $U V$ un plano que estará limitado en $V N P U$ el cual representará el derrame inclinado de la parte superior.

257. Siendo el salmer una piedra especial distinta de las demás pasaremos al labrado de ella. Prepararemos el bloque auxiliar de modo que forme un prisma cuyas bases sean el contorno aparente de la piedra sobre el plano de proyección vertical y cuya altura sea el grueso del muro, suponiendo con arreglo á estos datos que se tiene este prisma en la (Fig, 149'') en $Z' S G' G Z L I I' S' L' Z'$; en la base anterior colocaremos la plantilla que viene dada en verdadera magnitud en $Z'' S U A''' A'' Z'$ en la (Fig. 149) disponiéndola en la (Fig. 149'') en $Z' S U A' A Z$, las líneas $S U$, $S' I'$ junto con la $S S'$ nos darán límites que nos servirán de guia para colocar en el plano de junta superior la plantilla $S U V V' G' I' S'$ la cual viene proyectada verticalmente en la figura del despiezo en $S G''$ cuya verdadera magnitud encontraremos lo propio que hemos hecho con la $Q' M$. Del mismo modo en la parte inferior de la piedra se dibujará la plantilla $Z A C E G I L$ deducida de la planta que nos la dá en verdadera magnitud en razón del mismo dato. Dispuestas ya estas plantillas empezaremos el desbaste uniendo G con G' el rectángulo obtenido en $G' I' I G$ será la parte lateral de la puerta. Las rectas $G E$, $G G'$, $G' V'$ determinarán un plano vertical que limitaremos en $E G G' V' E'$ por medio de la plantilla $C'' G' G'' V C'''$ de la proyección vertical; con las rectas $V V'$, $V' E'$, labraremos el plano horizontal superior de mocheta limitado por el rectángulo $C' V V' E'$ pasando luego á descubrir el plano vertical $C C' E' E$, correspondiente también á la mocheta.

Teniendo á la mano ya las rectas $A' U$, $C' V$, $U V$ que están situadas en un mismo plano desbastaremos la piedra hasta obtenerlo al descubierto en $A' U V C'$ y será el plano de derrame superior y finalmente haciendo pasar otro plano por las líneas $A A'$, $C C'$ éste será el plano lateral del derrame; concluyéndose el labrado con el trabajo de este último elemento. Conviene que esta última operación se lleve á cabo combinada con la anterior, pasando sucesivamente en el labrado y desbaste de uno á otro plano de derrame para que así salga con más exactitud la línea $A' C'$ intersección de los derrames vertical y superior.

Insiguiendo á lo preceptuado en el n.° 155-3.° conviene que los lechos de cantera coincidan con las juntas, pues así según allí se indicó las piedras están en la mejor disposición para recibir las presiones trabajando con más ventaja.

En la parte derecha de la figura, se puede observar se han evitado los ángulos agudos que forman las juntas con el intradós de la puerta valiéndose al efecto de una serie de cortes verticales tales como $a b$, cuya modificación es fácil concebir que ligero cambio de operaciones dará para las plantillas y labrado.

DINTEL EN UN MURO CILÍNDRICO RECTO

258. El muro cilíndrico recto está expresado (Fig. 150) por sus trazas horizontales *G J*, *I H*, teniendo una altura *H H'* sobre la línea de tierra *L T*.

La puerta viene proyectada verticalmente en el rectángulo *A' B' B'' A''* y horizontalmente en el cuadrilátero mixtilíneo *A B D C* representando lo rayado el grueso del muro. El eje de la puerta es perpendicular al plano vertical proyectándose en él según el punto *O* por el cual pasarán las juntas como en el caso anterior.

Divídase la línea del dintel *A'' B''* en un número impar de partes iguales trazando por cada punto de división verticales *d' e'*, *a' b'*, etc., comprendidas entre las líneas paralelas *A'' B''*, *e' b'* cuya separación puede ser de cinco á seis centímetros; así habremos evitado los ángulos agudos de las juntas de lecho que ahora trazaremos en *e' f'*. *b' c''*... etc. concurriendo todas al eje común *O*. La última dovela la terminaremos con un montacaballo, para evitar la demasiada acuidad de la junta con el plano límite superior.

259. Proyección horizontal de las juntas. Por ejemplo *b' c''*; esta corta á la parte convexa cilíndrica del muro según una elipse proyectada horizontalmente según la curva *a k c* confundiéndose con la traza del cilindro recto, luego corta al plano del extrados según la recta oculta *c c'*, corta luego al cilindro convexo de la parte posterior según otro trozo de curva elíptico *c' k'* también confundida con la traza horizontal del propio cilindro y finalmente corta á la parte plana del intradós según la recta vista horizontalmente *a g;* siendo pues toda la proyección horizontal de dicha junta el cuadrilátero mixtilíneo *c a g c'*; dicho se está que siendo el plano de junta perpendicular al plano de proyección vertical toda la plantilla vendrá proyectada en este plano según la única recta *b' c''* que se confunde con la traza vertical del plano que la contiene. Esta operación repetida para las demás juntas nos permitirá concluir el aparejo.

260. En el montacaballo de la izquierda se ha querido evitar el ángulo agudo que produciría la junta vertical discontinua con los paramentos del muro y al efecto se ha subdividido la junta total en tres parciales las dos *M P*, *N Q*

verticales y normales á las bases de los cilindros que comprenden el muro y la otra *P N* también vertical en la posición más á propósito para el enlace de las otras dos.

261. Datos para la labra. Plantillas. La plantilla tal como por ejemplo la *b' c''* la encontraremos en verdadera magnitud, rebatiéndola en el plano horizontal tomando como á charnela la horizontal que se proyecta verticalmente en ω; al efecto todos los puntos tales como *c''*, *x*, *k'*, *b'* describirán arcos de círculo paralelos al plano vertical, *c'' c'''*, *k' k''*, *b' b''*, proyectados horizontalmente en *c'* c^{IV}, *k k'''*, *g g''*, *c* c^{V}, *k* k^{IV}, *a b'''*. En las dos curvas *g'* c^{IV}, *b'''* c^{V} se han escogido puntos intermedios *k'''* K^{IV} para poderlas precisar; y entonces los cruces de las horizontales que parten de los puntos de la proyección horizontal con las verticales de los puntos *b''*, *k''*, *c'''* nos darán en definitiva la verdadera magnitud de la junta α limitada por los puntos *b'''* k^{IV} c^{V} c^{IV} *k''' g'*. Insiguiendo las mismas consideraciones podemos encontrar todas las demás juntas.

Teniendo en cuenta ahora que las dovelas están limitadas en la parte anterior y posterior por superficies cilíndricas rectas cóncava la una y convexa la otra, podrá convenir alguna vez deducir el desarrollo de dichas superficies cilíndricas en los límites que conciernan en cada piedra en particular; así si nos fijamos en la dovela que denominamos por β y se trata de buscar el desarrollo de su parte cilíndrica convexa lo encontraremos insiguiendo los procedimientos de la Geometría Descriptiva, notando que la sección recta del cilindro dada por *A'' B''* se confunde en el plano horizontal con la traza de dicha superficie. Tomando pues el arco *f a* por medio de una serie de elementos sucesivos tales como *f z'*, *z' d*, *d c*, *c k*, *k a* y colocándolos unos en pos de otros en línea recta (Fig. 150') en *f''' z''*, *z'' d''*, *d''* c^{VII}, c^{VIII} *a''* y levantando verticales por cada una de estas últimas divisiones éstas se limitarán á la misma altura de los puntos que están señalados en la proyección vertical en *a'*, *b'*, *k'*, *c''* los puntos así obtenidos en el cruce respectivo nos darán el desarrollo definitivo que indicaremos con el signo β. El desarrollo de la parte cóncava se obtendrá con análogas construcciones lo propio que las superficies cilíndricas de las demás dovelas.

262. Para la labra de la dovela β escogeremos en este caso para variar de procedimiento un prisma que tenga por

bases la máxima proyección horizontal tal como *f a g f* y por altura la de la piedra ó sea la separación de las líneas paralelas *f' c"*, *d' a'*. Este prisma está representado en la (figura 150") por *f' f m a p q a' n f'*, colóquense enseguida en las partes cilíndricas del indicado prisma los desarrollos que se habrán encontrado anteriormente en β' y el correspondiente á la parte cóncava, se arrollarán pues dichas figuras la una en el cilindro convexo de manera que venga á tomar la disposición *f' c' b' a' d'* guiándonos con los puntos vértices opuestos *f*, *a* de modo que coincidan con ellos los correspondientes del desarrollo así como la *d a g h* del intradós se podrán colocar respectivamente la primera en la parte superior de la piedra en *f c c' f'* y la segunda en la parte inferior en *a a'- d' d*. Falta únicamente la colocación de las plantillas de junta.

Para esto la que hemos encontrado en α la colocaremos en α en la (Fig. 150') de manera que la curva $b''' c^{V}$ coincida con *b c* y $g' c^{IV}$ coincida con *b' c'* cuya coincidencia tendrá efecto una vez desbastado el prisma triangular mixtilíneo que pasa por *c m b b' n c'*, asegurándonos bien haber obtenido el plano de junta desde el momento que por la superficie labrada pueda aplicarse una recta en todos sentidos tal como por ejemplo *1 1'* y la que pase por los puntos extremos *b*, *c'*. Del mismo modo desbastaremos el prisma excedente de la junta opuesta hasta que pueda colocarse en el plano dado por las rectas *f f'*, *e e'* la plantilla *f e e' f'* encontrada como la precedente así como la determinación y labrado de la faceta vertical *e' d' d e* dada por las líneas que se habrán de antemano trazado en *e' d'*, *e d*, *d d'*.

DINTEL EN UN MURO CILÍNDRICO OBLICUO

263. La proyección horizontal del eje del cilindro oblicuo lo suponemos en *O O'* (Fig. 151, Lám. 16) siendo *O* la traza de dicho eje y á la vez centro de la base expresada en *A' A B B'*; si con el mismo radio de esta circunferencia y haciendo centro en *O'* se traza otra circunferencia en *l f i* ésta representará la base superior; proyectadas verticalmente la primera, en *L T* por estar situada en el plano horizontal y la segunda en *C' D'*, altura á que suponemos limitado el cilindro. El plano de proyección vertical se ha escogido perpendicular al eje de la puerta, por cuya razón éste se proyectará

en el punto ω, el hueco de la puerta en $A_1 A_2 B_2 B_1$ y en proyección horizontal en *A A" B" B*. Haciendo centro en el punto *O'* describiremos el arco *C D* cual expresará la traza horizontal del cilindro vertical convexo posterior que termina el grueso del muro. Como en los casos anteriores dividiremos la línea del dintel $A_2 B_2$ en un número impar de partes iguales, trazando por estos puntos pequeñas líneas verticales *a' a"*, *b' b"*, *c' c"*, etc., de unos cuatro ó cinco centímetros, espacio intermediario que existe entre la línea auxiliar *t' u'* y la $A_2 B_2$ y hecho esto previamente, podremos ya con facilidad efectuar la concurrencia de los planos de junta en el punto ω vértice del triángulo equilátero cuya base es, $A_2 B_2$. Así tendremos representados todos los planos de junta tal como *a" l"* perpendiculares al plano vertical de proyección: Para evitar la acuidad de las juntas del salmer con el plano superior horizontal, será bueno interrumpirla en un plano horizontal intermedio conducido á la altura que señala *m' p'* y terminar las piezas en forma de montacaballo como á la derecha de la figura, adoptando como á junta vertical el plano *n h* normal á la línea de junta inferior *g p*, ó bien como está señalada á la izquierda sin el resalto del montacaballo, y conduciendo la junta vertical discontinua paralela á la dirección de la puerta, disposición más fácil y económica que la segunda porque evita resaltos y complicaciones, pero que en cambio no cumple como la primera la condición de evadir el ángulo agudo.

Precisa ahora referir en el plano horizontal el aparejo practicado en el plano vertical, y para mayor claridad nos fijaremos en una junta tal como la *l" a"*, analizándola por partes, al ir observando que líneas produce al cortar las caras del muro y grueso de la puerta. En primer lugar, vemos que cortará al cilindro oblicuo convexo según una curva, que será un arco de elipse, del cual necesitaremos cuando menos un punto intermedio entre *a"* y *l"* tal como *k"*, en cuanto al punto *l"* lo podremos proyectar directamente en el plano horizontal en el punto *l*, puesto que estará situado en la proyección horizontal de la circunferencia que limita la base superior del cilindro oblicuo, y por lo referente á los puntos *k"*, *a"* los encontraremos observando, que siempre será susceptible de conducir por ellos dos planos secantes horizontales *m' p'*, *t' u'* cuales cortarán al cilindro de paramento según dos circunferencias iguales, pero de distinto centro, en dicha proyección horizontal. Al objeto de encontrar estos centros,

imaginaremos el rebatimiento del plano vertical proyectante del eje expresado en *O O'*, efectuando este movimiento el punto *O* será fijo mientras que el punto *O'* se moverá en un plano perpendicular á la charnela *O O'* para venir á colocarse en definitiva en *O"*; de modo que la recta que resulte uniendo *O* con *O"* será el rebatimiento del eje. (La altura *O" O'* será igual á la altura de *C' D'* sobre la línea de tierra, ya que suponemos que el punto *O"* se encuentra situado en dicho plano superior denominado por *C D*.) Ahora bien, es evidente que todo plano horizontal tales como *m' p'*, *t' u'*, *z x* vendrán á cortar al plano vertical proyectante de *O O'* y rebatido en *O" O' O* según horizontales, á la misma altura que aquellos; si pues tomando estas alturas en el plano rebatido á partir de la charnela *O O'*, sus nuevas trazas verticales vendrán expresadas por las líneas horizontales *m" p"*, *t" u"*, *x' z'* cuales trazas cortando al eje en los puntos *1*, *2*, *3*, nos darán los centros respectivos, cuales vendrán á proyectarse horizontalmente en *1'*, *2'*, *3'*, haciendo lo mismo con todo otro plano tal como *q' r'* que vendrá expresado en el rebatimiento en *q" r"* dándonos el centro *4* y su proyección horizontal en *4'*, repitiendo dicha operación tantas veces, cuantas sean las líneas de junta continuas dispuestas en el muro de que se trata. Haciendo centro ahora en los puntos encontrados *1'*, *2'*, *3'*, *4'*, y con un radio igual al de la base del cilindro, podemos trazar en la proyección horizontal las secciones circulares *m p*, *t u*, *A" B"*, *q r*, en la línea *m p* es ahora que podremos proyectar el punto *k"* en *k* y en la línea *m u* el punto *a"* en a_1; la unión *l*, *k*, a_1, nos dará la curva elíptica que buscamos. Este mismo plano cortará al horizontal superior según una recta perpendicular al plano vertical proyectada en *l"* y en *ll'*, al cilindro cóncavo según un arco de elipse proyectado en *l' k"* a_2 terminado con la perpendicular al plano vertical proyectada en a_1 a_2 que es cuando la junta corta, formando ángulo al plano vertical *a' a"* que evita el ángulo agudo, y aquí es de advertir que las proyecciones de la línea *a' a"*, a_1 *a* aunque las dos vengan expresadas por líneas rectas, representan en el espacio una pequeña curva elíptica, por ser sección del cilindro oblicuo con un plano que no tiene la dirección de las generatrices del cilindro, ni es paralelo á la base del mismo. Resulta pues, que la junta de que se trata viene expresada en proyección horizontal en el cuadrilátero mixtilíneo expresado en *l* a_1 a_2 *l'* y que repitiendo análogas operaciones

vendremos en conocimiento de las proyecciones de todas las demás del mismo género.

264 Obtenidas éstas, precisa encontrar su verdadera magnitud, para lo cual bastará hacerlas girar hasta que su plano sea paralelo al de proyección horizontal. Efectuemos esta operación con la misma junta anterior *l" a"* y para hacer más claras las operaciones traslademos paralelamente á si mismo el plano *a" l"* en a_1 l_1 y en este estado hagamos girar á dicho plano hasta obtenerlo horizontal en *l'''* a_1; al girar, todos los puntos del plano describen arcos tales como l_1 *l'''* paralelos al plano vertical, proyectados por lo tanto horizontalmente según líneas paralelas á la línea de tierra. Si pues por los puntos *l'*; *l* trazamos líneas de referencia horizontales, éstas cortarán á la línea vertical de referencia que parte del punto *l'''* en los puntos l^{IV}, l^{V} y la línea que resulte de unirlos será l^{IV} l^{V} rebatimiento de *l' l*; del mismo modo *a'''* a^{IV} será el rebatimiento de a_2 a_1 y toda línea intermedia tal como *k k'* tendrá también su rebatimiento según k^{IV} k^{V}. Uniendo por su orden, los puntos así obtenidos se vendrá en conocimiento de la figura l^{IV} l^{V} k^{V} a^{IV} *a'''* k^{IV} que será la verdadera magnitud de la plantilla escogida. Igual operación haremos con las demás.

265. Labra de una piedra.—Escojamos para ello la más complicada, tal como es el montacaballo *f" d' d'* B_2 *e' g' h' i'* cuya proyección horizontal es d_1 *d B" e g h n f' f*. Las juntas *d" f"*, *e' g'* se encontrarán conforme hemos expresado anteriormente; las plantillas horizontales *f" i'*, *g' h'* están directamente proyectadas en verdadera magnitud en el plano horizontal, la primera en *f' f i n*, la segunda en *g h n g"*, la horizontal *d'* B_2 también está proyectada horizontalmente en verdadera magnitud en *d B" e"* d_2, faltando no más encontrar la plantilla vertical de la junta discontinua proyectada en *n h*. Para esto, rebatiremos dicho plano tomando como á charnela la *n h*, y para hacer más claras las operaciones, la trasladaremos paralelamente á si misma, hasta colocarse en *n h* que está sobre una nueva línea de tierra *L" T"*, en el rebatimiento, la vertical que parte del punto *n* se rebatirá en *n n'*, igual á la separación de los planos *C' D'*, *m' p'* mientras que el punto *i* se rebatirá también á la misma altura en *i"*, el punto *h* permanecerá fijo en la charnela y todo punto inter-

medio entre los extremos *i* y *h* se encontrará del propio modo y así hasta tener la curva rebatida en *h i'''*; con esto la plantilla en verdadera magnitud será el cuadrilátero ψ mixtilíneo *n n' i''' h*.

Con estos elementos procederemos al labrado de la pieza, empleando al efecto el sistema de baiveles, esto es, valiéndonos de los ángulos diedros que van formando sucesivamente las caras planas contiguas.

A este efecto (Fig. 151') escogido en la cantera, el bloque que contener pueda con algunas creces las dimensiones de la piedra, empiécese á labrar un plano, haciendo todo lo posible de llevarlo en la dirección aproximada del lecho de cantera, sobre él se colocará la plantilla encontrada de la junta superior, y ésta limitará dicho plano en d' d'_1 f f_1 partiendo ahora de la arista f f_1 se labrará la cara superior horizontal para lo cual se echará mano de baiveles tales como el deducido de la figura en el ángulo d'' f'' i' formado por los dos planos de que se trata. Distintas posiciones de este baivel, haciendo que su plano, esté siempre en posición perpendicular á la arista f f_1, hará que la dirección de los lados superiores, nos indique una serie de líneas situadas en el segundo plano que se trata de labrar y desvastando y avanzando el instrumento de corte en el sentido de las ramas del baivel, llegaremos á labrar una superficie plana que limitaremos colocando la plantilla, f_1 f i n deducida de la proyección horizontal en donde va señalada con las mismas letras; de ésta pasaremos á determinar el labrado de la junta vertical discontinua i h h_1 n, valiéndonos de un baivel en escuadra puesto que se trata de dos planos uno horizontal y otro vertical, en cuyo plano labrado lo limitaremos colocando la plantilla encontrada en el rebatimiento en ψ; de este plano vertical partirá el labrado del plano horizontal inferior correspondiente al ramal del montacaballo valiéndonos también de una escuadra cuyo ángulo entrante, se situará en distintas posiciones desde h, á h_1 colocándolas siempre que su plano esté perpendicular á dicha arista, desvastándose la piedra hasta poder colocar la plantilla g h h_1 g_1 deducida de la proyección horizontal que ya antes hemos indicado la teníamos en verdadera magnitud; por los análogos procedimientos se labraría enseguida la junta inferior g g_1 e_1 e valiéndonos de la plantilla de antemano encontrada, y del baivel deducido de la proyección vertical en e' g' h' y así

iríamos contorneando el perímetro de la piedra, usando siempre en combinación los baiveles y las plantillas, hasta cerrar completamente el perímetro concluyendo con la primera arista empezada ó que sirvió de base de partida.

La colocación de todas estas plantillas dará por resultado, el que vengan colocadas todas las líneas que forman el contorno de los paramentos cilíndricos cóncavos y convexos de la piedra, restando solamente el labrado de estas superficies curvas cuyos límites tenemos ya fijados, desvastando al efecto toda la piedra excedente, y para esto nada más fácil para guiarnos en la dirección del desvaste, que marcar en la misma piedra una serie de generatrices del cilindro oblicuo, por ejemplo, generatrices marcadas en *1-1*, *2 2*, *3-3*, *4 4*, etc., y siguiendo en el desvaste la indicación de estas líneas auxiliares, el lugar geométrico de éstas, nos dará el cilindro oblicuo del paramento.

Téngase en cuenta que para la debida colocación de estas generatrices, será necesario trazar una serie de ellas, en la proyección horizontal de la piedra y cada una de las mismas cortará á las del contorno, en los puntos pareados *1-1*, *2-2*, *3 3*, etc., y éstos, serán verdaderamente de marca sobre cada una de las plantillas, las cuales al ser trasladadas á la piedra trasladarán también como consecuencia los puntos indicadores que llevan consigo; del propio modo obraremos con la superficie cóncava cilíndrica posterior, siendo allí más expedita la operación con motivo de ser las generatrices verticales, toda vez que la superficie cilíndrica aquí es recta.

COLOCACIÓN Y RETOQUE EN LOS DINTELES

266. Las operaciones concernientes para ir formando los dinteles al natural son breves y sumamente fáciles Después de colocadas las jambas *J*, *J'*. (Fig. φ) hasta el nivel del intrados del dintel, guardando las precauciones que se indicaron al hablar de los muros, y según sea la clase de muro en donde esté establecido el dintel, se procederá á la colocación de los dos salmeres, insiguiendo los mismos procedimientos y cuidando de obtener la perfecta horizontalidad posible en los lechos, así como las juntas se dirijan en la verdadera inclinación que hayan de tener, ocupando su verdadero sitio en el grueso del muro. Hechas estas prévias operaciones, se colo-

can dos piezas de madera *F* bien horizontales, en la parte inferior del intrados dejando entre ellas y dicho intrados un estrecho hueco de unos cinco centímetros y apropósito para alojar en él, una serie de cuñas *g*, *g*, más ó menos remachadas, según convenga en el tanteo que se haga para obtener una completa horizontalidad y superficie bien continua la que forma el plano inferior de intrados compuesto á su vez por el intrados de todas las dovelas. Es necesario advertir que estas dos piezas *F*, gemelas, se colocan una al ras del paramento anterior y otra, que corresponde al posterior, pudiendo así descansar cada una de las dovelas, por sus dos extremos, pues de emplearse una solamente de estas piezas y colocada en la parte media, sería una operación muy imperfecta atención hecha que todo movimiento que se comunicara á la piedra (cosa muy fácil durante la colocación de las mismas, en que el obrero ha de porfiar bastante tiempo en el tanteo general de una á otra parte) tendería á que ésta girara enseguida alrededor de la única línea de apoyo central, ladeándose enseguida la piedra, ya hacia la parte anterior ó posterior según la dirección inicial que originase el desaloje. Estas dos piezas horizontales se apoyan directamente sobre dos puntales *E*, *E'*, dos para cada pieza, haciendo que cada uno de ellos, exceda de una muy pequeña cantidad de la altura en donde van á estar alojados, con el fin de que cuando sea llegada la ocasión oportuna, puedan remacharse algún tanto y tomar una disposición ligeramente inclinada, en forma de tornapunta conforme muestra la figura de su referencia. Cumplidas estas precauciones se procederá á la colocación de los contra salmeres, uno á la derecha y otro á la izquierda, luego la de las dos dovelas que vienen en pos de aquellas también una á la dereeha y otra á la izquierda, y de esta manera siguiendo, hasta tener colocadas las dos contraclaves, dejando no más entre estas dos piezas el hueco que corresponde á la pieza central ó sea la clave, esto es, la última en

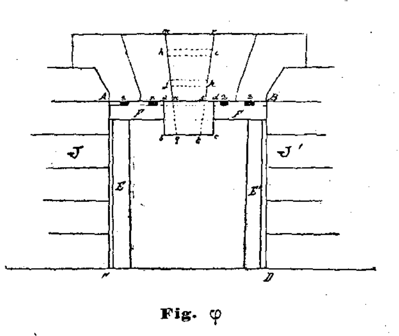


Fig. φ

la colocación, la que cerrará después definitivamente el arco adintelado, teniendo empero en cuenta que á cada colocación de dos dovelas, una por parte, se efectuarán las operaciones para asegurarse bien de la horizontalidad del intrados que vaya sucesivamente formándose en el espesor del muro; ensayando una regla en el sentido *A B* del ancho de la puerta. En el concepto que las piedras ó alguna de ellas no obedezca á semejante disposición ó no se aloje en su sitio tal como se la tiene destinada; entonces se procederá á quitarla de su sitio y bajarla si así conviene para corregir su defecto, ya arreglando la junta para darle su debida inclinación, ya también rectificando las partes vistas en el sentido que la comprobación haya indicado. Efectuados todos éstos trabajos y ya las dovelas colocadas en su respectivo asiento se procederá á colocar dos codales *h i*, *j k*, que compriman las dos contraclaves, para que perseveren en su sitio y no alteren lo más mínimo, el hueco destinado á la clave, la cual se labrará desde luego; más como quiera que la mayor exactitud ha de presidir en ella para que se adapte perfectamente al hueco mencionado; de aquí es, que se parta de este último precisando bien la inclinación ó convergencia de las juntas, *n m*, *s r*, y para esto, valiéndose de una tabla de madera ó cartón grueso y rígido *a b c d* colocado bien vertical (si el muro es recto) se señalarán las prolongaciones *n q*, *s t* de dichos cortes, las cuales referidas á la piedra que se está labrando servirán de guía y rectificación para el buen trazado de las juntas. Concluida que se encuentre la clave se la va alojando, descendiéndola en el hueco con toda precaución, golpeándola levemente por la parte superior en los últimos momentos de la operación para facilitar el enrase, hasta que su intrados coincida con el general. Se procede finalmente al retoque del paramento, conforme vimos en los muros.



CAPITULO UNDÉCIMO

BÓVEDAS

267. Bóveda del latín *voluta*, encorvada. Llámase así la construcción de cantería que sirve para cubrir espacios y formar techos.

Estas en su parte de intrados afectan la forma arqueada y cóncava excepción hecha del único caso que este intrados sea plano.

Las Bóvedas pueden dividirse en dos grandes agrupaciones que faciliten su estudio que son: Simples y Compuestas.

Simples, serán cuando sea una solamente la superficie de intrados.

Compuestas: Cuando son varias las superficies que componen dicho intrados, combinándose entre sí por medio de líneas ó aristas de intersección por medio de las cuales se interrumpen dichas superficies.

El cuadro siguiente nos hará conocer de momento la clasificación de Bóvedas según sean simples y compuestas.

CUADRO QUE EXPRESA

LA CLASIFICACIÓN DE LAS BÓVEDAS

- **Simples**
  - Planas
    - Dependiendo sus variaciones de la forma de la planta.
    - Intrados de escalera de tramos rectos.
  - Cilíndricas
    - Cañón de eje horizontal
      - Recto.
      - Oblicuo ó esbiage. Puentes oblicuos.
    - Cañón de eje inclinado al horizonte. . . Bajadas
      - Rectas.
      - Oblicuas.
    - Trompa cilíndrica.
  - Cónicas
    - De eje horizontal. Atahutada
    - De eje vertical. Flechas. Sus variaciones dependen de la forma de la planta.
    - De eje inclinado al horizonte.
    - Capialzados, siendo cónico su intrados.
    - Trompa cónica.
  - Revolución
    - Esférica. Cascarón. Nicho esférico. Pechinas.
    - Vaida. Adela.
    - Trompas. Caso que su intrados sea superficie de Revolución.
    - Las demás variaciones dependen de la línea meridiana.
  - Segundo grado
    - Elíptica . .
      - Dos ejes iguales, el otro distinto.
      - Tres ejes desiguales.
      - Vaida.
    - Parabólica.
      - Dos ejes iguales, el otro distinto.
      - Tres ejes desiguales.
  - Anulares
    - Dependiente de la forma de la línea meridiana.
    - Trompa anular.
  - Alabeadas
    - Capialzado de Marsella.
    - Capialzado de Montpeller.
    - Cuerno de vaca.
    - Conoide.
    - Cilindroide.
  - Helizoidales
    - Bóveda de San Gil.
    - Escalera de caracol.
      - De ojo.
      - De alma.
  - Envolventes
    - Capialzado de intrados en superficie envolvente.
    - Trompa de intrados de superficie envolvente.
    - Pechinas forzadas.
- **Compuestas**
  - Por arista. / Doble arista. / Rincón de claustro. / Acodilladas. / Esquilfadas.
    - Sus variaciones dependen de la forma de la planta que cubren
  - Lunetos . . . .
    - Sus variaciones dependen de la clase de superficie que los forman, así como de su respectiva posición.
  - Especiales. . . . . .
    - Bóveda por arista anular.
    - Bóveda por arista anularoide.
    - Bóveda por arista anular y helizoidal.
    - Bóvedas esféricas y elípticas con arcos torales y pechinas.
  - Ojivales . . . .
    - Sus variaciones dependen del período de su construcción
      - De Cruz, de Crucería.
      - Aspa
      - De Abanico.
      - De Devanadera.
      - Radial.

CAÑÓN SEGUIDO RECTO

268. Llámase así la bóveda que está formada por un cilindro recto y horizontal, cubriendo un espacio ó pasaje de planta rectangular; de donde se infiere que el eje del cilindro ó bóveda, ha de ser perpendicular á los planos de base ó paramentos entre los cuales esté comprendido el paso. Es la bóveda más elemental de las conocidas, por su facilidad de ejecución y extremada sencillez en su estructura, es también la más antigua en el concepto de estar constituída por dovelas (números 16, 48).

En la figura 152, Lám. 16, se representa en el rectángulo $A_1\ M_1\ M\ A'_1$, el espacio que hay que cubrir; y los rectángulos $S\ A_1\ A'_1\ S_1$, $M_1\ N_1\ N'_1\ M_1$ las plantas de los apoyos ó muros sobre los cuales insiste la bóveda. Sin embargo, estos muros no los tendremos en cuenta, toda vez que el plano vertical de proyección lo supondremos en $L\ T$, representando no más el cilindro desde su arranque que hacemos pasar por el mismo plano de proyección horizontal. Siendo el plano vertical de proyección paralelo á las caras $A_1\ M_1$, X-Z del cilindro ó lo que es lo mismo perpendicular á la dirección del mismo, se infiere; que en dicha proyección tendremos á la vez la sección recta de la bóveda, lo cual nos facilitará sobremanera las operaciones. Sea pues el semicírculo $P'\ D'\ A'$ la proyección vertical de esta base ó arcos de los dos paramentos, entonces la parte interior completamente vista y que conoceremos en toda bóveda con el nombre de *intrados*, vendrá producida por el lugar geométrico de todas las posiciones que tome la semicircunferencia antedicha al emprender un movimiento de traslación, paralelo siempre al arco inicial de embocadura, recorriendo los arranques A_1, M_1 todos los puntos de las rectas primeras generatrices $A_1\ A_1'$, $M_1\ M$.

Es necesario ahora dar grueso á la bóveda limitándola en el exterior por medio de otra superficie que constituya el *extrados* de la construcción. Puede tener esta superficie varias disposiciones, pero en general por razones de equilibrio establecidas por la teoría y confirmadas por la experiencia, se termina por otro cilindro también de arco circular $F_1\ F_3\ F_2$, cuyo centro ω esté debajo de la línea de arranque, á una

distancia de la clave igual á los $\frac{2}{3}$ ó $\frac{3}{4}$ de la luz, y cuyo radio sea igual á dicha distancia más el espesor en la clave, espesor que depende, de la luz, de la carga, y del grado de resistencia de los materiales.

Algunas veces se trasdosa paralelamente al intrados y en esta disposición el matemático Bails, la llamaba *bóveda trasdosada.*

Finalmente cuando el espesor de la bóveda es igual al del muro en que se abre, formando arco de puerta, se termina cada dovela por una cara horizontal $F_4\ \beta''$, y otra vertical $F_3\ F_4$ de modo que las juntas se encuentren con las hiladas horizontales del muro, formando así parte de una sola dovela dichos planos de junta y de asientos. Otras veces las dovelas se forman con el sistema de montacaballo, tal como la $\beta''\ C'\ B'\ F_3\ k\ J$.

Si el trasdos de la bóveda termina en un plano horizontal, como por ejemplo el $\gamma\,\delta$, entonces es, cuando se la llama *trasdosada de nivel.*

Lo mismo que en los dinteles, las piedras que forman parte de una bóveda toman distintos nombres; así se llama *clave*, la piedra central superior que cierra definitivamente el espacio; sus laterales son las *contraclaves*, las de las primeras hiladas en donde empieza el arranque se llaman *almohadones*, cambiándose este nombre en *salmeres* para cuando las piedras forman también parte del muro. Los *riñones* de la bóveda son las zonas de dovelas comprendidas entre el salmer y las contraclaves y mas particularmente la parte situada al tercio del arranque.

269. Volviendo á la figura 152; para llevar á cabo el despiezo, se procede á la formación de la primera serie de juntas ó sean las continuas recurriendo á una serie de planos que pasen por el eje y por los puntos B', C', D'... etc., que dividen en un número impar de partes iguales el arco de cabeza $A'\ D'\ P$; estos planos que son $B'\ F_3$, $C'\ \alpha$... etc., perpendiculares al paramento; serán normales á la superficie de intrados cortándola según generatrices, esto es, según líneas de mínima curvatura, llevando consigo la condición, que los planos de la segunda serie ó de las juntas discontinuas sean las conducidas según la dirección de la sección recta, tales como $f\ c$, $f''\ c''$... etc., pues así nos darán líneas de máxima curvatura de la propia superficie, cumpliéndose así las prescripcio-

nes del número 155, 7.°. El despiezo es por lo demás sencillo, y una piedra cualquiera de esa bóveda tal como la $F_3\,B'\,C'\,\alpha$ se proyectará horizontalmente y en total según un rectángulo que aquí en este caso es el expresado por $f\,c\,c'\,f'$. También se desprende que las plantillas de junta serán simples rectángulos cuya longitud será la de la piedra y cuyo ancho estará expresado por las líneas de junta que aparecen en la sección recta tal como son por ejemplo las $F_3\,B'$ en la primera junta, $\alpha\,C'$ en la segunda y así sucesivamente.

270. Labra.—Es también muy fácil y sencilla, (Fig. 152') y queda reducida la cuestión á formar un prisma cuyas bases sean la proyección vertical de la piedra y cuya longitud la que se deduzca de la misma en el plano horizontal.

A este efecto si queremos proceder por el sistema de escuadría, se empezará labrando un paralepípedo cuya base sea el rectángulo circunscrito al contorno de la piedra en el plano de proyección vertical. Este prisma lo tendremos en $F'\ F''\ G\ G'\ G''\ F'''\ F'$. En sus bases inscribiremos enseguida la plantilla φ en la misma disposición que esté en el plano vertical de proyección de donde se ha deducido, puesto que allí está en verdadera magnitud, todo quedará reducido enseguida á unir los puntos homólogos de estas dos bases colocadas, procediendo al desvaste de toda la excedencia de piedra hasta encontrar las rectas ó generatrices de las superficies curvas de intrados y extrados, así como las planas de junta, resultado de la unión de los puntos homólogos antedichos.

Para el mejor labrado de las superficies cilíndricas se dispondrán en las curvas de base una serie de puntos de marca *1. 2. 3...* etc., en una base y *1', 2', 3'...* etc., en la otra base y dos á dos estos puntos unidos *1* con *1'*, *2* con *2'*, *3* con *3'*... etcétera, nos darán generatrices para el buen trazado del intrados y así haremos lo mismo con el extrados.

Para la demarcación de estos puntos bastará dividir las curvas $B'\ C'$, $B\ C$ en el mismo número de partes iguales cada una.

CAÑÓN SEGUIDO RECTO PENETRANDO OBLICUAMENTE EN UN MURO RECTO

271. La misma figura anterior nos va á servir para la representación de los datos de este problema; con solo añadir

el muro recto $G\,H\,Q\,I$ en la parte anterior y á una altura expresada por $\gamma\,\delta$, prolongándose el cilindro del caso precedente hasta encontrar dicho muro:

Si bien el cilindro de extrados $F_2\,\alpha\,F_3$ se conserva el mismo, sin embargo, ha de tenerse en cuenta que al encontrar al muro las hiladas de éste han de combinarse con las del cañón. Así, suponemos que las piedras del muro están terminadas en formas tal como indica la proyección vertical $F_3\,F_4,\ \beta''\ C'\ B'$.

Hecha esta salvedad, el detalle de todas las proyecciones y despiezo queda como el caso anterior. Variarán solamente la forma de las juntas continuas referentes á las piedras que formen á la vez parte del muro y del cañón; así, si tratamos de analizar la manera como se produce la junta $\beta''\ C'$, veremos que corta al cilindro de intrados según la generatriz $C\,n—C'$, corta luego al paramento del muro según la recta $C'\,\beta''—C\,\beta'$ encontrando enseguida al grueso del muro según la $\beta\,\beta'—\beta''$. Aparece luego en la parte posterior del muro en $\beta\,\alpha'—\beta''\,\alpha$, sigue cortando en la generatriz $\alpha'\,\alpha''—\alpha$ al extrados del cañón, y finalmente cierra la figura de corte con la $\alpha''\,n—\alpha\,C'$ en donde corta á la junta discontinua ó sea una de las secciones rectas; resultando de estas intersecciones la junta proyectada horizontalmente en $C\,\beta'\,\beta\,\alpha'\,\alpha''\,n$ la cual constituye si se encuentra su verdadera magnitud una de tantas plantillas que son necesarias para la labra de la piedra. Es fácil encontrar esta verdadera magnitud, haciendo girar todo el plano $C'\,\beta''$ alrededor de la horizontal proyectada en C', y teniendo en cuenta que en el movimiento se conservan en su verdadera magnitud todas las líneas de la junta que son paralelas á la charnela C', no nos será difícil deducir la verdadera magnitud indicada en la (Fig. 152''). Para esto tomése sobre una recta $x\,x'$ las distancias $c\,\alpha$, $\alpha\,\beta$ iguales á las $C'\,\alpha$; $\alpha\,\beta''$ de la proyección vertical levántanse enseguida las ordenadas, $c\,t$, $\alpha\,r$, $\beta\,\beta'$, $\beta\,s$ iguales respectivamente á las magnitudes de la proyección horizontal expresadas en $C\,n$, $\alpha''\,\alpha'$, $v\,\beta$, $v\,\beta'$, uniendo así los puntos que resulten extremos de estas ordenadas se obtendrá la plantilla indicada en Z (Fig. 152'').

Si bien se observan las construcciones que acabamos de indicar vienen á ser en resumen un simple rebatimiento del plano que la contiene, toda vez que en definitiva la encontramos aquí, valiéndonos de abcisas y ordenadas que representan los anchos y profundidades relacionadas con el rebatimiento y su charnela.

272. Labra.—(Fig. 152') Escójase un prisma cuya base sea la figura que muestra la proyección vertical de toda la piedra $F_3\ B'\ C'\ \beta''\ J\ k$ de la (Fig. 152) y cuya altura sea la máxima longitud de la piedra cuya dimensión la tenemos en $C\ n'$ en el plano horizontal.

Colóquese enseguida sobre las juntas superior é inferior (Fig. 152') las plantillas encontradas según hemos hecho anteriormente, guiándose en la colocación, de manera que sus lados homólogos coincidan con sus respectivos $\alpha\ C$, $C\ C'$ y entonces la plantilla vendrá á colocarse en $\alpha\ C\ C'\ \beta''\ \beta'\ \alpha'\ \alpha$, haciendo luego lo mismo en la junta inferior $F\ B\ B'$. Mediante esta disposición colóquese el paralelogramo $F''\ \beta'\ \beta''\ F'''$ en el asiento horizontal cortando enseguida la piedra haciendo pasar un plano por las líneas $F'''\ b$, $F'''\ \beta''$, $\beta''\ C'$. Este plano vertical será el que corresponde al paramento anterior del muro y allí la piedra aparecerá acusándose en el montacaballo $B'\ C'\ \beta''\ F'''\ b\ a$. Finalmente mediante la vertical $F''\ g$ y la horizontal $F''\ \beta'$, se labrará otro plano en donde se coloque la plantilla que afecta la forma de un pentágono mixtilíneo $g\ F''\ \beta'\ \alpha'\ f$, deducida fácilmente por un simple rebatimiento del plano vertical posterior. En cuanto á los cilindros de intrados y extrados se labrarán conforme se ha indicado al tratar del simple cañón seguido recto, una vez se haya colocado la plantilla posterior $B\ C\ \alpha\ F$ que la tenemos en verdadera magnitud en el plano de proyección vertical.

CAÑÓN SEGUIDO ESTABLECIDO EN UN MURO EN ESBIAGE Y PENETRANDO EN OTRO CAÑÓN SEGUIDO CONSTRUÍDO DE ALBAÑILERÍA

273. Objeto del problema.—Suponemos (Lám. 18, Fig. 161) que existe un gran murallón $G\ F\ H\ L\ K\ J$ en cuyo interior hay dispuesto un pasaje cubierto con un cilindro horizontal en cañón seguido $K\ D\ M\ E\ I$. Por otra parte hay necesidad imperiosa que en dirección perpendicular á dicho pasaje se construya otro cañón seguido de menor diámetro que el primero y establecido también en el interior del referido murallón pero de modo tal que llegue á atravesar su cara lateral que lo forma un plano en talud $G\ F\ L\ c\ d$ y en esbiage con respecto al cañón mayor, porque la traza horizontal de dicho plano $d\ L$ no es paralela á la dirección $P\ E$ del cañón mayor. Así pues el paso que tratamos de abrir dentro el muro

está comprendido entre dos planos $A'\ a\ h$, $B'\ b\ g$ verticales y paralelos, perpendiculares al gran cañón y cubierto con un cilindro de revolución en su intrados (esto es la superficie interior visible para un observador colocado interiormente á dicho cilindro ó al paso) cuya sección recta es el semicírculo colocado auxiliarmente de puntos en $A'\ N'\ B'$ apoyado en las verticales $a\ A'$, $b\ B'$ pero que hemos de suponer prolongado en la dirección establecida aprovechando solamente de él la parte comprendida entre el talud $G\ F\ L\ d$ y el pasaje circular $K\ D\ M\ E\ I$. La sección recta de este último, suponemos ser (vista en perspectiva) $D\ M\ E$. Los dos cañones cilíndricos ó pasajes, se suponen tienen el mismo plano de arranque $A\ B\ C\ D\ E\ F$ y las jambas del cañón menor así como su bóveda son los únicos elementos que están formados de cantería, pues todo lo demás de la construcción referida, se supone estar formado de albañilería ó mampostería ó si se quiere obra mixta. Así las cosas observemos que el pasaje que vamos á abrir quedará cortado en su intrados por el plano en talud $G\ F\ L\ d$ por medio de una elipse $A\ N\ B$ y por el cilindro mayor $D\ M\ E$ por medio de una línea de doble curvatura entre las cuales quedará comprendido el mencionado cilindro; preciso se hace pues antes de tales operaciones el determinar estas dos curvas llamadas curvas de cabeza del cilindro del paso.

274. "Parte Teórica. *Determinación de las curvas de cabeza.*" 1.° Curva de intersección del cilindro del paso con el plano en talud. Sus datos son: (Fig. 162). Plano inclinado del talud; el proyectado horizontalmente por las paralelas $A_1\ B'_1$ y $N\ P$ siendo la primera la traza horizontal y la segunda el límite en altura que nos la dá su proyección vertical colocada en $N'\ P'$. El cilindro mayor que va á ser acometido por el otro, tiene una generatriz de arranque en $\mu\ A''\ B''\ \Delta$ y su eje en $\varphi\ \varphi'$, la sección recta que es circular está representada en $S\ C'''\ H'''\ D^{V}\ E'''$ la cual se supone que se ha hecho pasar por el punto S' del arranque y que luego se ha hecho girar alrededor de la vertical del punto S' hasta que viniera á ser paralela al plano vertical.

El cilindro ó cañón seguido objeto del problema tiene su eje expresado en $O\ O''$ en la proyección horizontal habiendo escogido á propósito el plano de proyección vertical perpendicular á dicho eje, puesto que así se obtiene la ventaja de

que todo dicho cilindro viene proyectado verticalmente según su sección recta que viene expresada por la semicircunferencia descrita con el radio $A\ O$ que pasa por los puntos A, c, d, D, C, B. Como el ángulo que forma el paramento inclinado con el plano horizontal, es un elemento importante para las construcciones hacederas, será necesario encontrarlo y al efecto por un punto cualquiera tal como por ejemplo Q' de la traza horizontal, conduciremos un plano vertical $Q'\ L$ perpendicular á dicha traza y este plano cortando al horizontal y al del talud contendrá el ángulo que buscamos, que faltará solamente encontrarlo en verdadera magnitud cuya operación realizaremos haciendo girar el plano $Q'\ L$ hasta que venga en $Q'\ L'$ paralelo al plano vertical; en este movimiento el punto Q queda fijo en el plano horizontal mientras que el punto L describe su correspondiente arco de giro $L\ L'$ proyectado verticalmente en la horizontal que pasa por $N'\ P'$ y por lo tanto el punto L después del giro á venido á colocarse en L''; uniendo ahora L'' con Q la recta que así resulte formará con nuestra línea de tierra $X\ X'$ un ángulo α igual al que buscamos. Vengamos ahora á encontrar la intersección del cilindro con el plano, la cual será evidentemente una elipse atención hecha á la posición del plano con respecto al eje del cilindro. Si deseamos encontrar varios puntos de esta curva imaginaremos las intersecciones sucesivas de las generatrices del cañón con dicho plano y para esto suponiendo que se trata de la generatríz que parte de un punto cualquiera tal como C que tiene su proyección horizontal en $C'\ C''$, veremos que haciendo pasar un plano de perfil por ella, este plano nos cortará al plano vertical proyectante de la traza $A_1\ B'_1$ del talud según una vertical, mientras que el plano en talud le cortará según una recta inclinada, ambas á dos partiendo del punto correspondiente de la traza horizontal $A'_1\ B'_1$. Ahora bien la parte de generatriz horizontal que pasa por el punto C, y que está comprendida entre las dos rectas de intersección últimamente mencionadas, proyectándose en verdadera magnitud sobre el plano horizontal será evidente que nos dará el punto que buscamos C', colocándola en él á partir del punto m y en el sentido de m á C'. Como esta operación se ha de repetir para cada generatríz al objeto de abreviar operaciones referiremos todos los planos secantes á su paralelo que pasa por el punto Q esto es el $Q'\ M$ el cual girado alrededor de Q' hasta $Q'\ M'$ paralelo al plano

vertical nos dará en este la línea inclinada $M''\ Q$. Pero en este mismo plano rebatido se proyecta la generatríz según la horizontal $C\ m'$ que pasa por el punto C la cual corta á la $M''\ Q$ en el punto m' siendo este el punto que buscamos pero que ahora hemos de referir á su primitiva posición. Mas haciendo atención que las distancias de las generatrices $m'\ C^{IV}$, $n'\ D^{IV}$ etc., son precisamente la separación de todos los puntos de la intersección á la traza horizontal del talud, contando estas operaciones en la dirección de las proyectantes perpendiculares á la línea de tierra, todo quedará reducido á llevar estas porciones $m'\ C^{IV}$, $n'\ D^{IV}$ etc. en $m\ C'\ n\ D'$... etc., siendo los C', D'... etc., los puntos de intersección definitivos, los que uniéndolos por un trazo continuo nos darán el arco elíptico $A'\ c'\ d'\ D'\ C'\ B'$ siendo los $A'\ B'$ los de arranque cuales se encuentran inmediatamente con la intersección de las generatrices de arranque con la traza horizontal del talud; de modo que en estos puntos especiales la curva es tangente á las generatrices de arranque $A'\ A''\ B'\ B''$ que á la vez limitan el contorno aparente del cilindro sobre el plano horizontal. Esta circunstancia hace que en la semielipse obtenida $A'\ B'$ sea un diámetro de la curva y que su correspondiente conjugado $O'\ l$ esté dirigido en la misma dirección que el eje $O'\ O$ del cilindro. Sin necesidad de construir punto por punto, podríamos determinar la curva valiéndonos de estos diámetros conjugados y también por medio de sus ejes por el procedimiento visto en el número (233).

Para mayor exactitud sería conveniente determinar las tangentes en puntos cualesquiera de la curva cual operación se hace sumamente expedita combinando el plano de la curva con el tangente al cilindro á lo largo de la generatriz que contenga el punto escogido, para que por él pase la tangente. Por ejemplo si se trata de la generatriz que parte del punto C, el plano tangente al cilindro viene expresado por sus trazas en $C\ J\ K$, cortando su traza horizontal á la del mismo nombre del talud en T, se infiere que $T\ C'$ es la intersección de los dos planos y por lo tanto la tangente en el punto C' de la curva.

Segundo. *Curva de cabeza producida por la intersección de los dos cilindros.* Nos valdremos lo mismo que en la intersección interior, de los planos secantes que proyectan horizontalmente las generatrices del cilindro menor; el proyectante de $D'\ D''$ por ejemplo, cortará al cilindro mayor

según una sección recta circular y la intersección de esta curva con la generatriz escogida será ya un punto de la intersección; pero aquí lo mismo que en la operación anterior, observaremos para simplificar operaciones que se podrán referir todos los planos análogos al común que les es paralelo, tal como la sección recta que pasa por el punto S' cuya sección recta se ha hecho girar alrededor del punto S' hasta colocarla en un plano paralelo al de proyección vertical en cuyo caso ha venido á proyectarse en $S\ C'''\ H'''\ E'''\ D^{V}$, etc., proyectándose por lo tanto en esta curva todo lo contenido en el cilindro; más como en dicho plano se proyectan á la vez las generatrices horizontales del cilindro menor y á la misma altura que tienen, tal como $C\ C'''$, $D\ D^{V}$, etc., de aquí resulta que las intersecciones sucesivas de estas generatrices con dicha curva de la sección recta nos darán los puntos C''', D^{V} que buscamos pero simplemente proyectados en el plano auxiliar escogido y que solo faltará trasladar á su verdadero sitio, operación muy fácil teniendo en cuenta que las proyecciones verticales $\gamma'\ C''$, $\delta'\ D^{V}$, etc., representan las separaciones ó distancias respectivas que existen entre los puntos de la proyección horizontal de la curva de intersección y la generatriz de arranque del gran cañón, mediante pues esta propiedad procederemos á tomar las distancias $\gamma'\ C'''$, $\delta'\ D^{V}$, etc., y las colocaremos sucesivamente á partir de la generatriz de arranque citada en $\gamma\ C''$, $\delta''\ D''$, etc., y la unión de todos estos puntos nos dará en definitiva la curva de intersección en $A''\ c''\ d''\ D''\ C''\ B''$.

Precisa también en esta curva para su rectificación dado que convenga, el determinar tangentes en un punto cualquiera de la misma y sea encontrarla en el punto C'' que quedará determinada combinando los dos planos tangentes á los dos cilindros en el punto escogido. El plano tangente al cilindro menor en dicho punto ya hemos dicho que está expresado por $C\ J\ K$, mientras que el que corresponde al cañón mayor en el mismo punto viene representado en la sección recta por su traza $R'\ R$ de modo que se infiere claramente que su traza horizontal habiendo de ser paralela á las generatrices del cilindro de su referencia, la distancia de esta traza horizontal á la generatriz de arranque viene con toda evidencia demarcada en $R\ S$ por que tomando esta distancia y colocándola en la proyección horizontal desde $A''\ B''$ hácia la línea de tierra y trazando luego la respectiva paralela $a\ b$

ésta será la traza horizontal del plano tangente y como ésta viene á cortarse en el punto U con la $J\ K$ se deduce ser la $C''\ U$ la intersección de los planos tangentes y por lo tanto la tangente que buscamos para el punto escógido.

Si bien el sistema empleado de los planos tangentes nos dará las tangentes á los puntos de la curva, sin embargo el procedimiento aquí en nuestro caso particular es deficiente por cuanto resulta no podrá aplicarse al tratar de los puntos de arranque $A''\ B''$. En efecto, en cada uno de estos puntos los planos tangentes á estos dos cilindros son verticales cortándose por lo tanto según una vertical y ésta por su misma naturaleza se proyecta horizontalmente según un punto confundido con A'' ó B'' según sea el que se escoja; no podríamos pues resolver esta cuestión á no acudir en auxilio de otro procedimiento más expedito y exento de aquella dificultad y esto nos lo facilitará empleando el plano de las dos normales que pasan por el punto; y lo son cada una de ellas á cada uno de los dos cilindros, puesto que determinado que sea éste, la perpendicular á él, pasando por el punto escogido será la tangente que se busca. La normal al cilindro menor en el punto A'' viene proyectada en $A''\ O$ siendo O su traza horizontal; la normal al cilindro mayor en el mismo punto A'' viene representada por $A''\ \psi$, siendo ψ su traza horizontal, resultando con esto, que $o\ \psi$ es la traza horizontal del plano normal y por lo tanto la tangente á la curva en el punto A'' será la recta conducida por dicho punto, $A''\ \rho$ perpendicular á $o\ \psi$.

Este procedimiento es general pudiéndose aplicar en cualquier punto de la curva y tanto más, en cuanto podemos prescindir por completo de la curva en el espacio, así como de las construcciones que en él se han practicado, concretándonos tan solo á la proyección horizontal de la curva $A''\ c''\ d''\ D''\ C''\ B''$ relacionada con los ejes $O'\ O''$, $\varphi\ \varphi'$ de los dos cilindros, toda vez que según el teorema de Mr. Hachette *si desde un punto cualquiera de esta curva tal como C'' se trazan dos perpendiculares á los ejes $O'\ O''$, $\varphi\ \varphi'$ tal como $C''\ \omega$, $C''\ \omega'$ nos dará unidos los pies de estas perpendiculares, una recta $\omega\ \omega'$ á la cual será perpendicular la tangente $C'\ \pi$ que buscamos.*

275. Este sencillísimo trazado gráfico nos conduce también fácilmente á la ecuación de la curva. En efecto, tomemos por ejes de coordenadas $O\ O''$, $\varphi\ \varphi'$ proyecciones horizon-

tales de los ejes de los cilindros; O'' es el punto de origen y llamemos x, y las coordenadas en un punto cualquiera de la curva tal como C'', en este caso x será $O''\ \omega$, y, será $O'\ \omega'$, el coeficiente angular de la recta $\omega\ \omega'$ será $-\frac{y}{x}$ y por lo tanto el de la tangente, recta perpendicular á ésta vendrá expresado por $\frac{x}{y}$ y con esto se tendrá $\frac{dy}{dx} = \frac{x}{y}$ de donde $x.\ d\ x - y.\ d\ y = o$ de donde $x^2 - y^2 =$ constante.

Es necesario determinar ahora la constante y esto lo haremos expresando que en el punto B'' las coordenadas R y r (radios de los dos cilindros) pertenecen á la curva infiriéndose de aquí que la constante $= R^2 - r^2$ de modo que la ecuación definitiva de la curva es $x^2 - y^2 = R^2 - r^2$, cuya nos indica por su estructura, que es la representación de una hipérbola equilátera en que los ejes de los dos cilindros son los ejes de simetría de dicha curva.

276. Aparejo y descripción de una piedra.—Dividamos el arco de cabeza en un número impar de partes iguales, $A\ c$, $c\ d$, $d\ D$, etc., conduciendo por cada uno de estos puntos de división los planos de junta $C\ E$ y $D\ G$, etc., terminando estas juntas en los planos de asiento horizontales que pasan por E, G, etc., y fijémonos en la piedra proyectada verticalmente en el pentágono $D\ C\ E\ \ F\ G$, de modo que bordeando este contorno una recta que se conserve siempre perpendicular al plano vertical formaremos un prisma y conservando de él la parte comprendida entre el plano en talud y el cilindro mayor tendremos idea de la piedra que vamos á definir; procede según esto á buscar la intersección de este prisma con el plano en talud y con el cilindro acometido. Para esto el plano de junta $C\ E$ corta al talud según la línea $C\ E$ proyectada horizontalmente en $C'\ E'$ concurrente como todas las demás de su género en el punto O', el último punto E' puede obtenerse inmediatamente proyectando el punto E en E' después de unir, O', C' y prolongada, ó bien trazando la horizontal del punto E y pasando á buscar su proyección horizontal con ayuda de la distancia $E_1\ e_1$ conforme hemos hecho anteriormente al determinar puntos de la curva, este último método es preferible al primero para salvar el cruce en ángulo demasiado agudo que forman las proyectantes verticales con las líneas concurrentes en el punto O' y con especialidad al tratarse de las juntas tales como $D'\ G'$ próximas al vértice.

Después el plano de junta corta al extrados así como al intrados según dos rectas tales como $E'\ E''$, $C'\ C''$ concluyendo este plano su misión, al cortar al cilindro mayor según la curva $C''\ E''$ la cual, podemos determinar fácilmente si observamos, que si se trazan una serie de rectas contenidas en el plano de junta y perpendiculares todas al plano vertical, proyectándose en éste según los puntos C, H, E, todas estas, lo propio que se ha hecho en su lugar correspondiente con la que parte del punto C se proyectarán según líneas horizontales en el plano de la sección recta del cañón mayor dándonos por consiguiente proyectados también allí, los puntos de intersección que buscamos tales como $H'''\ E'''$... etc , cuales relacionados con las distancias $H'''\ h$, $E'''\ \delta$ nos indicarán la separación á la distancia de estos puntos en la proyección horizontal á la generatriz de arranque $\mu\ A''\ B''\ \Delta$ por lo que no tendremos más que llevar estas referidas distancias desde la línea de arranque antedicha, hacia el interior del cilindro y en la dirección de las generatrices correspondientes que se han escogido en el plano de junta $C\ E$; de este modo obtendremos la rama de elipse $C''\ H''\ E''$ la cual pasará como todas las demás, suficientemente prolongada, por el punto O, ya que éste es común intersección de todas, en donde la traza horizontal $O\ O''$ común de todos los planos corta á la generatriz de arranque. Por igual procedimiento vendríamos á deducir las demás curvas del mismo género tales como $D''\ G''$, etc.

El plano que limita la piedra en la parte superior, esto es el horizontal $G\ F$ cortará al cilindro mayor según la horizontal $G''\ F''$ mientras que el plano de perfil $F\ E$ nos cortará según la línea $E'\ F'$ al plano en talud cuya proyección determinaremos como las demás que están situadas en este plano, mientras que al cilindro mayor le cortará según una parte de curva de sección recta proyectada empero horizontalmente según la recta $E''\ F''$ por encontrarse en un plano de perfil; resultando de todo esto que el prisma que informa la piedra tendrá una base en el paramento inclinado la cual afectará la forma del pentágono $D'\ G'\ F'\ E'\ C'$ mientras que concluirá al cortar al cilindro mayor apareciendo allí su otra base según la figura $D''\ G''\ F'\ E''\ C''$ dándonos pues con estas dos bases la proyección total de la piedra y por lo tanto su contorno aparente en el plano horizontal. Las mismas construcciones insiguiendo la marcha que hemos establecido servirían para deducir las otras piezas.

277. Plantillas, Desarrollos. Labra de una piedra.—Para ello escogeremos la piedra que se acaba de definir. Se empieza la investigación de las caras de la piedra por las juntas de lecho, la $C\,E$, la cual podemos hacer girar hasta rebatirla en el plano horizontal, más para que las operaciones sean más claras trasladaremos paralelamente la junta en una situación tal como por ejemplo $C^{V}\ E^{V}$ que pasa por el punto S y en esta disposición haciéndola girar sobre la marcha, cada uno de sus puntos describirán arcos de círculo paralelos al plano vertical tales como $C^{V}\ C^{VI}$, $H^{IV}\ H^{V}$, $E^{V}\ E^{VI}$ y las proyecciones horizontales de estos arcos, todas las paralelas á la línea de tierra de modo que conduciendo verticales por los puntos $C^{VI}\ H^{V}\ E^{VI}$ y horizontales por los puntos C', H', E'; C'', H'', E'', los puntos de cruce respectivos de las primeras con las segundas nos indicarán completamente unidos el cuadrilátero mixtilíneo $C^{VII}\ C^{VIII}\ H^{VIII}\ E^{VIII}\ E^{VII}$ el cual nos indicará la verdadera magnitud de la plantilla correspondiente al plano de junta escogido, plantilla que señalaremos con un signo especial tal como muestra la figura para indicar con él que ha de estar colocada sobre la parte de la piedra que corresponde al lecho de cantera. En cuanto á la determinación de la junta $D\,G$ seguiremos el mismo procedimiento.

Hay también la junta $F\,E$ situada en el plano de perfil y si bien se considera; la plantilla afectará la forma de un cuadrilátero irregular compuesto de tres líneas rectas y una curva, las tres primeras intersección de la junta con el plano inclinado de paramento, y los dos de asiento horizontal y la tercera intersección de este mismo plano con el cilindro mayor. Si ahora suponemos proyectada toda esta plantilla sobre el plano de la sección recta que pasa por S y después que se haya considerado el giro de este plano para coincidir con el plano vertical la plantilla vendrá á tomar la disposición en verdadera magnitud de $E_1\ E_2\ F_1\ D^{V}$.

El plano horizontal superior $G\,F$ nos dá directamente en la proyección horizontal la plantilla en verdadera magnitud la cual está formada por el trapecio $G'\ F'\ F''\ G''$. Finalmente el desarrollo de la parte cilíndrica del intrados que corresponde al trecho $D\,C$ nos completará las caras que limitan el contorno de la piedra y para este desarrollo supondremos que la sección recta á que acudimos, es la que pasa por los puntos de arranque $A''\ B''$ desarrollándola en la línea recta (Fig. 162') $A''\ B''$ tomando en ella elementos tales como $A''\ m$, $m\ n$, $n\ p$, $p\ q$, $q\ B''$ cuales elementos serán respectivamente iguales á las longitudes de los arcos de la figura de la proyección vertical $A\ c$, $c\ d$, $d\ D$, $D\ G$, $C\ B$. Por los indicados puntos de la línea rectificada A'', m, n, p, q, B'' se levantarán perpendiculares sobre las que se tomarán las distancias $A''\ A'$, $m\ c'$, $n\ d'$, $p\ D'$, $q\ C'$, $B''\ B'$ iguales respectivamente á las distancias que median en la proyección horizontal desde los puntos A', c', d', D', C', B' á la sección recta escogida $A''\ B''$ así como también tomando las distancias inferiores de esta misma línea á los puntos de la hipérbola $c''\ d''\ D''\ C''$ colocándolas en la (Fig. 162') $m\ c''$, $n\ d''$, $p\ D''$, $q\ C''$, resultando que la línea continua $A'\ c'\ d'\ D'\ C'\ B'$ es el desarrollo de la elipse del talud mientras que la curva $A''\ c''\ d''\ D''\ C''$ será el desarrollo de la línea de doble curvatura producida por la intersección de los dos intrados y la parte subrayada en $D''\ D'\ C'\ C''$ corresponderá al estricto desarrollo de la parte de cilindro que lleva consivo la dovela escogida.

Para mayor exactitud del trazado en el desarrollo de estas curvas, nos podríamos proponer encontrar las tangentes en cada uno de sus puntos, operación fácil indicada en la Geometría Descriptiva y que omitimos por no ser aquí en este caso de pura necesidad. También prescindiremos de la verdadera magnitud de la base del prisma formando parte de la cara en talud así como del desarrollo de la otra base situada en la superficie del gran cilindro en atención que son bastantes las plantillas que antes se han deducido para el labrado de la piedra, sin embargo, indicamos todos estos datos dado caso se quiera echar mano al efecto de una nimia y rigurosa comprobación.

278. Con todos estos datos pasaremos á la labra de la piedra empleando el sistema de escuadría, disponiendo ante todo un prisma (Fig. 162'') cuyas bases $c\ d\ g\ f\ e$, $c'\ d'\ g'\ f'\ e'$ sean exactamente iguales al contorno aparente de la piedra en el plano de proyección vertical, y la separación de estas bases sea $c\ c'$ igual á la separación de los puntos más distantes de la proyección horizontal de la misma piedra; empiécese colocando en este prisma la plantilla $g'\ f'\ t\ s$ correspondiente al plano horizontal de asiento superior deducida de la proyección horizontal haciendo que el borde $g'\ f'$ de la plantilla coincida con la arista $g'\ f'$ de la base del prisma, colóquese enseguida la junta superior en $g'\ s\ r\ n$ tomando como

á base de colocación la línea $s\ g'$ pasando luego á la colocación del desarrollo del intrados el cual se encogerá levemente arrollándolo para que tome la concavidad debida en $r\ n\ m\ q$ orillándose en la posición con la línea que ya antes teníamos situada en $r\ n$, en pos de este desarrollo, se colocará la junta inferior partiendo de la línea $q\ m$ y vendrá á colocarse en $q\ m\ p\ e$ y finalmente echando mano de la plantilla vertical de junta discontinua que hemos proyectado en el plano de la sección recta, ésta vendrá á situarse en $e\ p\ f'\ t$. Colocado ya todo el plantillaje los límites extremos nos darán la figura pentagonal $r\ q\ e\ t\ s$ toda ella situada en un plano que es el del talud para lo cual no tendremos más que descubrirlo desvastando todo el exceso de piedra que exista desde él al plano auxiliar $e\ c\ e\ f\ g$ que servía de base interina al prisma, ensáyese una vez hecho el desvaste la coincidencia de una regla en todos sentidos, hasta que efectuada esta operación ultimaremos el trabajo de manera que exista la debida continuidad en toda la citada superficie, haciendo los debidos retoques para el refino; en cuanto á la parte posterior los extremos de las plantillas nos dan la figura $m\ n\ g'\ f'\ p$ y toda ella ha de estar en una superficie cilíndrica por lo que marcaremos en las distintas líneas extremas puntos de marca pareados, *1*, *2*, *3*... etc., *1'*, *2'*, *3'*,... etc., uniendo los respectivos puntos de una misma denominación *1* con *1'*, *2* con *2'*, *3* con *3'*, etc., tendremos así establecidas una serie de generatrices sirviéndonos de guía para el engendro de la superficie y saber á que atenernos al quitar la excedencia de la piedra que media desde la base auxiliar del prisma capaz, hasta la definitiva que es objeto de la superficie cilíndrica.

Téngase en cuenta, que las puntos de marca se colocan junto con las plantillas á las cuales acompañan, y cuyo señalamiento en ellas se efectúa, trazando en proyección horizontal una serie de generatrices del cañón mayor, marcando enseguida los puntos en que éstas cortan á las líneas que forman el contorno de la proyección horizontal de esta base, tal como $D''\ C''\ E''\ F''\ G''$.

Observaremos aquí que el plano horizontal de asiento $G\ F$ corta al cilindro mayor según un ángulo F_1 (Fig. 162) quizá demasiado agudo, cual se podría subsanar introduciendo una pequeña faceta $F_1\ \Theta$ normal á la superficie cilíndrica, la que en proyección vertical vendría á proyectarse con respecto á nuestra piedra en $G\ F\ \Theta'\ \Theta''$, haciéndonos cargo con la (Fi-

gura 162''') de la pequeña modificación que habría de sufrir el labrado de la piedra con la ampliación de este detalle.

CAÑÓN SEGUIDO

EN EL INTERIOR DE UN MURO CÓNICO RECTO Y Á LA VEZ PENETRANDO EN UNA BÓVEDA ESFÉRICA CONSTRUIDA DE ALBAÑILERÍA

279. Objeto de la cuestión.—La (Fig. 163, Lám. 19) representa un dibujo preparatorio para que nos podamos hacer cargo del motivo y esencia del problema de que se trata. Se supone que se tiene un torreón cónico recto de base circular $G\ A\ B\ F\ I\ J\ H$ el cual está unido con dos lienzos de muralla $K\ L$ en el ángulo que éstas forman, constituyendo así, un cuerpo avanzado para la táctica defensiva del recinto amurallado. Además esta construcción contiene en su interior una estancia circular $f\ g\ m\ n\ p$ cuya pared de recinto lo forma un cilindro recto que sirve de apoyo á una bóveda esférica cuyo plano de arranque es el $d\ h\ i\ c$ y cuyo contorno aparente oculto es la línea $c\ l\ R\ h$ y como quiera que hay el pie forzado de comunicar este recinto circular, con el foso que circuye la contra-muralla se hace preciso construir una abertura en dicho lienzo de torreón para el objeto indicado. Se escoge para cubrir este pasaje un cilindro en cañón seguido cuya sección recta y á la vez base del mismo, está colocada auxiliarmente en $C'\ E'\ D'$ siendo $C'\ A'$, $D'\ B'$ las aristas de los pies derechos, la dirección del cilindro está expresada por la proyección del eje del mismo, $M\ N$ sobre el plano horizontal; más como por motivos especiales este eje no corta á la vertical $R\ O'\ O$ eje del cono, de aquí resulta que dicho cañón seguido será en esbiage ú oblícuo con respecto á la esfera. El cilindro $C'\ E'\ D'$ convenientemente prolongado nos cortará al cono según la línea de doble curvatura $C\ E\ D$ y aun continuando más la prolongación nos cortará á la esfera según otra línea alabeada $c\ e\ d$, estando comprendida entre estas dos curvas de intersección el cilindro dél pasaje objeto del tema que nos hemos propuesto, y en cuanto á los planos laterales de los jambas éstos vendrán á cortar al grueso del muro según dos trapecios mixtilíneos $A\ f\ c\ C$ y $B\ g\ d\ D$ en los cuales $A\ C$, $B\ D$ son las secciones del cono exterior por dichos planos resultando aquí cada una de ellas una rama de hipérbola puesto que el plano secante es paralelo al eje del

cono mientras que las verticales $f\,c$, $g\,d$ son las intersecciones de los propios planos con el cilindro vertical interior. Cilindro y esfera tienen un mismo plano de arranque.

280. Parte teórica. *Determinación de las curvas de cabeza y sus tangentes.* Sea el punto ω (Fig. 164) la proyección horizontal del eje vertical del cono de paramento así como el correspondiente á la esfera y para la debida descripción gráfica de estas dos superficies, las concebiremos cortadas por el plano meridiano ω H paralelo al plano vertical, pues como el radio de la esfera se supone ser la distancia ω J y el de la base del cono ω K todo quedará reducido á proyectar J y K sobre la línea de tierra en J' K' á partir de los cuales trazaremos por J' la vertical J' J'' hasta la altura L' T' en donde existe el plano de arranque de la esfera para luego trazar con el radio de ésta la curva circular meridiana J'' M, y por el punto K' la línea inclinada K' U que representará la generatriz del cono exterior dándonos así formado el ángulo α con la vertical K' K'' levantada por el punto K', ángulo que nos indica por lo tanto el talud ó inclinación de la superficie cónica; de modo que teniendo en cuenta todo el rayado encerrado en el perímetro $M\,J''$ J' K' U, éste representará convenientemente terminado por la parte superior el macizo comprendido entre las dos líneas meridianas, el cual girando alrededor del eje ω nos hará comprender el cono y la esfera del dato

Fijemos ahora el cilindro del pasaje conviniendo que O', $O\,O_1$ sean las proyecciones de su eje que con arreglo á ellas vemos que será perpendicular al plano vertical y haciendo centro en O con un radio igual á O' A' que es la semiluz que ha de tener el cañón, describamos la semicircunferencia A' C' D' B' que representará la proyección vertical de la bóveda cilíndrica, al mismo tiempo que su sección recta confundiéndose también con ella las proyecciones verticales de las curvas que ahora vamos á determinar en proyección horizontal y que provienen de la intersección de este cilindro con el cono exterior y la esfera interior. Dicho se está que el plano L' T' es el de arranque común de cilindro y esfera y como á tal acudiremos á él la mayor parte de las veces escogiéndolo como á plano horizontal de proyección, con motivo de hacer más breves las operaciones.

Si imaginamos la serie de generatrices del cilindro y encontramos las intersecciones sucesivas de éstas, con el cono los puntos así obtenidos nos darán la intersección de ambas superficies; lo que hagamos con una generatriz podremos repetir con las demás. Escojamos por ejemplo la generatriz que se proyecta verticalmente en el punto D', si hacemos pasar un plano secante horizontal por dicho punto tal como es el d' D' éste nos cortará al cilindro según la generatriz indefinida $D\,D_1$ mientras que al cono, lo hará con una circunferencia de radio igual á ω d, de modo que trazando ésta, cortará á la anterior generatriz en el punto D y este será el punto de intersección que se quería y lo mismo haremos con los demás puntos inclusos los de arranque A' B' y todos unidos nos darán la curva $A\,C\,D\,B$, alabeada y resultado de la combinación de cilindro y cono. Si quisiéramos efectuar rectificación en ella para cerciorarnos de la exactitud de su trazado, nos podríamos proponer la determinación de sus tangentes por ejemplo, la que corresponde al punto C, para lo cual bastará combinar los planos tangentes á las dos superficies en el mismo punto. El plano tangente al cilindro viene determinado por sus trazas en C' P, $P\,Q$ (tomando como se ha dicho anteriormente la línea de tierra en L' T'; el plano tangente al cono lo es á lo largo de la generatriz del mismo ω C R, de modo que trazando por R una tangente á la base del cono, ésta será la traza horizontal de dicho plano y cortando ésta en Q á la traza horizontal del anterior, este punto Q será con toda evidencia la traza horizontal de la tangente. Para con respecto á los puntos de arranque A, B, las tangentes á la curva están ya determinadas pues se confunden con las aristas de los mismos pies derechos, por ser tangentes en el espacio dichas líneas de arista con el arco de embocadura, pues así lo expresa la proyección vertical.

El mismo plano horizontal D' d', corta á la esfera en su meridiano en el punto δ' que proyectado abajo en δ nos dá el radio ω δ de la circunferencia que produce en su sección; de modo que ésta, encontrando á la generatriz en el punto D_1 éste pertenecerá á la intersección del cilindro y esfera, determinándose del mismo modo los demás, así como los de arranque A_1, B_1 que se irán á situar en el ecuador de dicha esfera y unidos todos nos darán la curva A_1 C_1 D_1 B_1 que será la combinación de cilindro y esfera.

También es conveniente en esta línea ensayar las tangentes en cada uno de sus puntos para la debida rectificación,

dado caso que sea necesaria; únicamente que si bien podríamos echar mano del método de los planos tangentes, éste no sería general por no ser aplicable á los puntos de arranque A_1 B_1 en donde dichos planos son verticales y se cortan según una vertical y ésta proyectada según el mismo punto A_1 ó B_1; este contratiempo pues nos impediría encontrar la tangente si no acudiéramos al método de los planos normales. El plano normal en el punto C' contiene las dos normales á las dos superficies, la normal al cilindro C_1 ε y su traza horizontal está en ε: la normal á la esfera es C_1 ω y su traza horizontal está en ω, luego deducimos que ε ω es la traza horizontal del plano tangente y su perpendicular C_1 S trazada desde el punto C_1 será la tangente á la curva. Sin embargo parece que este procedimiento, resultaría que tampoco es aplicable con respecto á los puntos de arranque, pues que en ellos el plano de las normales se confunde con el mismo plano de arranque, no pudiendo allí por lo tanto haber intersección desde el momento que se confundan en uno solo. Mas si tenemos en cuenta que la curva de la proyección horizontal A_1 C_1 D_1 B_1 es plana y completamente distinta de la que existe en el espacio que es de doble curvatura, haciendo abstracción completa de las operaciones efectuadas en el espacio, y cerniéndonos no más á las pertinentes á las dos dimensiones del plano de proyección horizontal, resultará según el teorema de Mr. Hachette que dicha curva plana tendrá la propiedad de que *sus tangentes son respectivamente perpendiculares á las rectas que se obtienen uniendo el centro de la esfera con los puntos de intersección del eje del cilindro con la perpendicular que parte el punto* C_1. Considerada ahora la cuestión en este sentido, el procedimiento es general y amplio y en él caben por lo tanto los puntos A_1, B_1.

La curva obtenida en A_1 C_1 D_1 B_1 proyección horizontal de la del espacio es una parábola que tiene por diámetro principal la recta ω x.

En efecto, considerado ω z como eje vertical proyectado horizontalmente en ω y ω y perpendicular á los otros dos y haciendo para abreviar la distancia del centro ω de la esfera al eje del cilindro tal como ω β igual a. Podremos establecer las ecuaciones de las dos superficies que serán

$$(x - a)^2 + z^2 = r^2 \text{ para el cilindro}$$
$$x^2 + y^2 + z^2 = R^2 \text{ para la esfera.}$$

Eliminando en ellas la coordenada z obtendremos la ecuación de la curva plana de la proyección horizontal y á este objeto restemos una de otra dichas ecuaciones. Para la eliminación referida se obtiene.

$$x^2 + y^2 - (x - a)^2 = R^2 - r^2$$
$$x^2 + y^2 - x^2 + 2\,a\,x - a^2 = R^2 - r^2$$
$$y^2 = -\,2\,a\,x + a^2 + R^2 - r^2$$

Cuya estructura de ecuación es la de una parábola con las condiciones antedichas, teniendo su vértice á la distancia de ω, $x = \frac{R^2 - r^2 + a^2}{2a}$

281. Aparejo, análisis de juntas y descripción de una piedra.— Divídase el arco de la sección recta en un número impar de partes iguales B' D', D' C', etc., haciendo pasar por los puntos de división y el eje O'. O O_1 los planos de junta que serán así perpendiculares al plano vertical, confundiéndose con las trazas verticales tales como O' E', O' c, etc., todo lo contenido en dichos planos cuáles se terminarán á las alturas de los planos horizontales E' F', c e así como limitando las piedras lateralmente por los planos de perfil e E', F' G' resultando así como forma de dovelas el pentágono C' D' E' e c para la contraclave y el pentágono D' B' G' F' E' para el salmer fijándonos en este último imaginemos el prisma que tiene por base esta figura y que prolongado convenientemente va á cortar al cono de paramento y á la esfera interior, quedando así completamente limitado por estas dos superficies. Así si consideramos el plano de junta D' E' éste vendrá á cortar al cono según un arco de elipse proyectado según O D E encontrándose cada uno de sus puntos el E por ejemplo, haciendo pasar un plano horizontal á la altura de E', cual plano secante análogamente como en las operaciones anteriores nos cortará al cono según una circunferencia cuyo radio ω f encontraremos proyectando f' en f y la intersección que resulte de este paralelo con la proyección horizontal de la generatriz del plano proyectada en E E_1 nos dará el punto E que formará parte de la curva; encontrándose del mismo modo tantos puntos como quisiéramos comprendidos entre D' E'; más atendiendo que por el punto O' O intersección del eje de la puerta con el cono pasan todos los planos de junta se inferirá de aquí que dicho punto O será común á todas las curvas análogas, pudiendo utilizarlo auxiliarmente para su

trazado, así pues trazaremos la curva $O\ D\ E$ aprovechando no más de trazo continuo la parte $D\ E$. Si consideramos ahora el plano horizontal $E'\ F'$ así como el de arranque $B'\ G'$ éstos evidentemente nos cortarán el cono según los trozos de circunferencia proyectados en $E\ F$, $B\ G$ y finalmente el plano de perfil $F'\ G'$ que limita lateralmente la piedra nos cortará al cono según un arco de hipérbola proyectada esta curva en la recta $F\ G$ por estar situada aquella en un plano de perfil, resultando así limitada la cabeza de la piedra en la parte anterior por la porción de superficie cónica encerrada dentro el límite del polígono proyectado en $E\ F\ G\ B\ D$.

Con pocas variantes encontraremos la cabeza de la piedra correspondiente á la superficie esférica. Así la generatriz de la junta que parte del punto E' cortará á la esfera en E_1 el cual estará situado en la intersección de dicha generatriz con la circunferencia que tiene por radio $\omega\ g$ producida ésta según el plano horizontal que pasa á la altura de E' al cortar á dicha esfera Lo propio veríamos con una generatriz intermedia entre $D'\ E'$ y así obtenido otro punto trazaríamos la curva de la proyección horizontal $D_1\ E_1$ para la intersección del plano de junta con la esfera. Todas estas curvas análogas correspondientes á las juntas pasarán por el punto O_1 intersección del eje del cilindro con el ecuador de la esfera en virtud de la concurrencia de todos estos planos con el citado eje. En cuanto á los planos de asiento horizontales $E'\ F'$, $B'\ G'$ cortarán á la esfera según dos paralelos el primero proyectado en $E_1\ n$ y el segundo en la parte de ecuador $B_1\ G_1$; pero en atención á formarse en n un ángulo excesivamente agudo desviaremos esta junta al llegar á G_1 para introducir una pequeña faceta vertical $m\ G_1$ en dirección del meridiano correspondiente y entonces los planos $F\ G_1$, $m\ G'$ se cortarán según la vertical proyectada en G_1 resultando así, que toda la dovela escogida vendrá á proyectarse horizontalmente en $D\ B\ G\ G_1\ m\ E_1\ D_1\ D$ correspondiendo su cara esférica al contorno $D_1\ E_1\ m\ G_1\ B_1$. Con análogas operaciones determinariamos las demás piedras.

282. Plantillaje y Labra.—Es conveniente proceder al desarrollo del cilindro de intrados, para lo cual en la (Figura 164') sobre la línea recta $L_1\ T_1$ rectificaremos la sección recta del cañón colocando en ella una en pos de otras las distancias $B'\ D'$, $D'\ C'$, etc.; iguales á los elementos ó partes de curva señaladas con las mismas letras en la sección recta, bajando enseguida por los mismos puntos de división una serie de perpendiculares sobre las que se tomarán las distancias.

$B'\ B_1$, $D'\ D_1$, $C'\ C_1$...... etc., $B'\ B$, $D'\ D$, $C'\ C$..... etc.

Iguales las primeras á las distancias respectivas de los puntos extremos de las generatrices situados sobre la esfera á la sección recta escogida cuya está en el mismo plano vertical y las segundas á las distancias á la misma sección recta de los otros puntos extremos de estas generatrices que están situados en la superficie cónica; de modo que uniendo por un trazo continuo los primeros puntos $A_1\ C_1\ D_1\ B_1$ nos darán el desarrollo de la curva situada en la esfera mientras que la situada en el cono será la $A\ C\ D\ B$ resultado de unir estos segundos puntos. La figura que resulta en $A_1\ C_1\ D_1\ B_1\ B\ D\ C\ A$ es el desarrollo total del cilindro y las partes en que este desarrollo queda dividido son los desarrollos parciales correspondientes á cada dovela, así el cuadrilátero mixtilíneo $D\ B\ B_1\ D_1$ es el desarrollo que corresponde á la dovela escogida.

Si tratamos de hallar la verdadera magnitud de una junta tal como $D'\ E'$ se observará que su figura $D\ E\ E_1\ D_1$ se compone de cuatro lados, dos de ellos curvilíneos los otros dos líneas rectas paralelas, esta plantilla en verdadera magnitud está obtenida en la (Fig. 164") en $D\ E\ E_1\ D_1$ y se ha obtenido averiguando primero: la separación $p'\ q'$ de estas dos líneas paralelas, segundo conociendo las distancias que median desde E y E_1 á q, tercero las distancias que median al punto p' de los puntos D, D_1 y cuarto las distancias que median á un punto intermedio r entre p' y q' á los puntos $s'\ t'$ situados en las curvas superior é inferior.

Ahora bien la distancia $p'\ q'$ se obtiene cortando en la (Fig. 164) por un plano $p\ q$ paralelo al plano vertical pues sea cual fuese su traza horizontal $p\ q$ (mientras fuese paralela á la línea de tierra) siempre nos daría la verdadera magnitud en el plano vertical de la separación que buscamos cual es $D'\ E'$. Con respecto á todas las demás distancias obsérvase que se tienen en el plano de proyección horizontal en verdadera magnitud, una vez escogido el plano vertical auxiliar $p\ q$ cuyo plano es el que se llama plano de la sección recta de la plantilla escogida.

Falta solamente para completar la verdadera magnitud de las caras de la piedra deducir las correspondientes á los planos verticales $G\ G_1$ y $m\ G_1$ cuales se obtendrán rebatiéndolos en el plano horizontal $L'\ T'$ tomando como á charnelas respectivas sus trazas horizontales. En cuanto al primero, antes de proceder al rebatimiento se ha hecho adelantar paralelamente á si mismo de una cierta cantidad tal como $G\ G''$ con el objeto de hacer más expeditas las operaciones para que las líneas que resulten de la plantilla no vengan confundidas con otras operaciones hechas en el plano horizontal; así dispuesta se ha girado describiendo varios de sus puntos $F\ F$, $\gamma'\ \gamma$ cuartos de circunferencia $F'\ F''$, $\gamma'\ \gamma'''$ paralelos al plano vertical, proyectándose según esto por medio de líneas $F\ F''$, $\gamma\ \gamma''$ etcétera sobre las cuales irán á situarse los puntos definitivos del rebatimiento por medio de los cruces de horizontales y verticales, obteniendo así la curva $G''\ \gamma''\ F''$, intersección de esta junta con el cono, luego las horizontales $F''\ G^{IV}$, $G'''\ G''$ intersecciones con los planos de asiento horizontales y finalmente la vertical $G'''\ G^{IV}$ que proviene de la intersección de la misma junta con el plano vertical de faceta $m\ G_1$ resultando así toda la plantilla rebatida según el trapecio mixtilíneo $G''\ F''\ G^{IV}\ G'''$.

La pequeña faceta plana $m\ G_1$ nos da rebatida la forma triangular $G_1\ \psi$ en la cual el arco $G_1\ m'$ será un trozo de círculo máximo de la esfera pues que el plano secante pasa por el centro, la vertical $G_1\ \varphi$ es la misma que habíamos encontrado en el precedente rebatimiento en $G'''\ G^{IV}$ y la horizontal $m'\ \varphi$ es resultado de la intersección del plano vertical de faceta con el plano de asiento horizontal $E'\ F'$

Con estos elementos podemos ya disponer las operaciones para el labrado de una piedra tal como la que hemos escogido esto es el salmer $D'\ B'\ G'\ F'\ E'$. Y para ello escójase una piedra que pueda contener en sus bases la proyección vertical (cuya es la sección recta de la piedra) de una longitud deducida de los puntos más distantes de la piedra en proyección horizontal, tales como en nuestro caso se encuentran los B, m, pues que trazando por ellos dos paralelas á la línea de tierra su distancia representa la mayor longitud que afecta el bloque, lábrese pues un prisma recto con estos datos; aunque puede dejarse de labrar una de sus bases en atención que no es de pura necesidad y que desapareciendo en el desvaste aumenta en último resultado el coste. Sea para ello en la (Figura 164''') el prisma auxiliar cuya base es $B\ D\ E\ F\ G$; limitemos ante todo el plano de junta colocando la plantilla en el plano que le corresponde $D\ E\ e'\ d'$ teniendo cuidado para que esté situada en su verdadero lugar que los vértices d, e disten las cantidades $D\ d$, $E\ e$ iguales á las que existen en la (Figura 164) entre los puntos D y E al horizontal que pasa por el punto B así la plantilla colocada tomará la disposición de $e\ e'\ d'\ e$ y en donde $d'\ e'$ será una línea curva situada en la esfera.

Tomando por guía ahora la generatriz $d\ d'$ haremos uso del desarrollo $D\ B\ D_1\ B_1$ de la (Fig 164') arrollándolo para adaptarlo á la parte cilíndrica de la piedra haciendo coincidir la línea $D\ D_1$ con la $d\ d'$ partiendo del punto d así este desarrollo limitará la superficie cilíndrica en su justo límite $B\ d\ d'\ b'$ siendo $d'\ b'$ la curva con que penetra en la esfera el cilindro de la dovela.

Pasando luego al plano de asiento inferior se colocará la plantilla $B\ b'\ g'\ g$ tomando por guía la arista $B\ b'$ la cual se tiene en verdadera magnitud en el plano de proyección horizontal en $B\ G\ G_1\ B_1$.

De igual manera se colocará la plantilla de asiento horizontal superior $e\ e'\ m'\ f'\ f$ la que se deducirá de la proyección horizontal puesto que allí se tiene en verdadera magnitud en $E\ F\ G_1\ m\ E_1$, tomando como á base de la colocación la línea $e\ e'$ y haciendo la coincidencia exacta de la arista $F\ f'$ con la línea homóloga del patrón; así la plantilla vendrá definitivamente colocada en $e\ e'\ m'\ f'\ f$.

Ahora las líneas $g\ g'$, $f\ f'$ nos guiarán para la colocación en el plano vertical $G\ F\ f'$ de la plantilla de la junta discontinua que tenemos en verdadera magnitud en la (Fig. 164) en $G''\ F''\ G^{IV}\ G'''$ colocándolas en la piedra en $f\ g\ g'\ f'$.

Y por fin haciendo pasar un plano por la horizontal $m'\ f'$ y la vertical $f'\ g'$ en él colocaremos la faceta vertical triangular $m'\ f'\ g'$ encontrada en verdadera magnitud según hemos indicado en su lugar correspondiente.

Así tenemos completamente limitada la piedra restando tan solo efectuar el desvaste de las partes extremas para obtener las superficies curvas; esto es la cónica anterior y la esférica posterior para lo cual nos bastará indicar una serie de generatrices de las mismas, las cuales vienen expresadas por las curvas *1-1*, *2-2*, *3-3*, *4-4*, etc. El trazado de éstas en la piedra se hace colocando distintos puntos de marca dos á

dos en las plantillas las cuales al colocarse colocan también á la vez dichos puntos, así por ejemplo al colocar la plantilla *e e' m' f' f* ésta lleva consigo y coloca en situación los puntos *3*, *4*, *5*, los cuales se marcan en ella trazando unas cuantas secciones meridianas de la esfera si de ésta se trata ó del cono si hacemos referencia á éste tal como viene indicado en la proyección horizontal. Por este sentido se marcarán los demás puntos en las demás plantillas que les correspondan. Hecho esto previamente quítese toda la parte excedente de la piedra hasta alcanzar estos puntos límites y tomando una cercha cortada según la línea meridiana sígase desvastando lentamente y con cuidado hasta que ésta pueda colocarse todo lo mejor posible coincidiendo con *1-1*, *2-2*, *3-3*, etc., y entonces verificada esta operación el lugar geométrico de todas sus posiciones nos dará la parte cóncava de la esfera en la parte posterior y la convexa del cono en la anterior, distinguiéndose no más una de otra en que en la superficie esférica ha sido preciso una cercha circular y en la superficie cónica simplemente una regla que ha ido coincidiendo sucesivamente con los puntos de marca *1-1*, *2-2*, *3-3*, etc.

COLOCACIÓN, RECTIFICACIÓN Y REPICADO EN LOS CAÑONES SEGUIDOS

283. Colocadas ya las jambas, *J J'* ó apoyos de la bóveda insiguiendo las construcciones que se indicaron al hablar de los muros en donde aquellas hayan de establecerse, se cuidará que la parte superior de las mismas que recibe el arranque ó la primera hilada de la bóveda sea un plano bien horizontal; y cumplido este requisito pueden colocarse directamente las piedras que forman la primera hilada á derecha é izquierda del paso cubierto. En esta primera operación es necesario atender especialmente á la piedra que ajuste perfectamente en su asiento horizontal, con dicho muro, apoyándose en todos los puntos correspondientes al contacto del lecho y sobrelecho. Ha de examinarse también que la línea ó generatriz de arranque del cañón, coincida en toda su longitud con la arista superior del muro de jamba considerado en su paramento interior viéndose á este de cada lado exactamente tangente al cilindro á lo largo de dicha línea de arranque. Y finalmente el paramento anterior ó principal de la piedra ha de ser fiel continuación de la superficie de paramento

del muro de donde forma parte, lo cual se practicará insiguiendo lo dicho sobre este particular en los muros.

Efectuada ya esta operación (Fig. δ), se procede á la colocación de la cimbra (*) *A B C* que va á sostener momentaneamente las hiladas de la bóveda durante la formación de ésta.

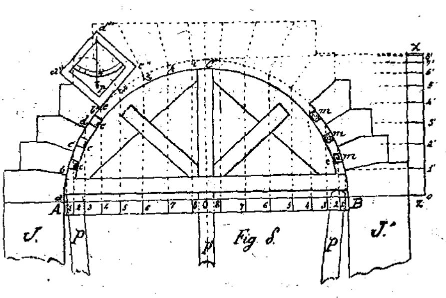


Fig. δ.

Esta cimbra que al construir un arco de poco grueso puede estar formada de una simple pieza. (Que nuestros prácticos llaman *cimbriot*), se compone por el contrario de muchas de ellas cuando de la erección se trata de una bóveda siendo el número de ellas proporcional á la longitud del paso que hay que cubrir.

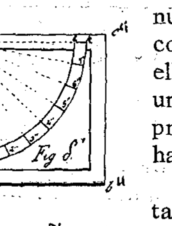


Fig. δ'

No hay tampoco regla fija de las distancias respectivas que han de mediar de una á otra pieza, pues su interespacio depende también de la índole, clase ó peso de la bóveda de que se trata; así es que puede fluctuar de dos ó tres ó hasta cuatro metros. A estas piezas así colocadas es cuando se las conoce con el nombre de *cuchillo de cimbra* y su forma depende de la que tenga la bóveda.

El conjunto de estos cuchillos unidos entre sí por medio del correaje superior de manera á formar un solo conjunto, es lo que constituye la *cimbra maestra* sobre la cual va á cargar el peso de las dovelas. No entraremos en más detalles sobre el particular pues existiendo infinidad de formas y según ellas así siendo la combinación más ó menos complicada de las maderas que la fortifican y todos estos casos entrando

(*) Armazón de madera sobre la cual se construyen los arcos ó las bóvedas. Consta de una superficie convexa, arreglada á la concavidad que ha de tener el arco ó bóveda que se va á construir, y se forma sobre madera gruesa y unida, para que pueda tener sobre sí todo el peso del arco ó bóveda hasta que se cierre.

en el dominio de una clase de construcción nos alejaríamos del camino que directamente nos concierne; basta solamente dejar consignado que sobre los cuchillos de cimbra se van colocando las correas en el sentido de las generatrices del cilindro; esto es, una serie de maderos, *m*, *m*, *m*... etc., que pueden estar retenidas por topes ó guiones, y en el caso que convenga para asegurar el trabajo de estos maderos se introducen remachadas una serie de cuñas *c. c. c*... etc., pues éstas así aumentan mejor el contacto y apoyo respectivos de las piedras con su correspondiente correaje, y de estos maderos relación hecha á su distancia y número habrá tantos como hiladas convenga asegurar.

Otras veces cuando se trata de una construcción de importancia se termina todo el cimbraje por medio de una superficie continua con tablazón sujeta á las correas antedichas que en este caso van invariablemente unidas con los cuchillos recurriendo á ensambles especiales. De todos modos la cimbra va en general sustentada por una serie de pies derechos *P*, *P*, *P'* colocados á lo largo de las líneas longitudinales que forman los paramentos interiores de los muros de apoyos y centro respectivo correspondiendo tres á cada cuchillo. Conviene también para asegurar la estabilidad del conjunto enlazar por medio de piezas longitudinales los puntos de arranque que van de cuchillo á cuchillo, ya valiéndose de maderos ó ya también de simples hierros armados de horquilla.

Una vez ya dispuesta la cimbra general con estas condiciones y seguros de que la superficie cilíndrica que pasa por las curvas de los cuchillos se encuentra bien concéntrica con la real del intrados (comprobación que se hará observando si los contornos de los cuchillos son concéntricos en sus curvaturas con las secciones correspondientes que se habrán hecho en el cilindro del plano de montea) entonces, será cuando se han de colocar las piedras de la segunda hilada sobre las de la primera, de modo que los puntos coincidan en toda su extensión, disponiendo una piedra á la derecha de la bóveda y otra á la izquierda hasta obtener estas dos hiladas de un mismo orden; luego la tercera hilada sobre la segunda en las mismas condiciones indicadas; esto es, llevar buena cuenta de no efectuar la colocación de mas hiladas en una parte que en otra, sino por igual en ambos lados; de no tener presente este importante requisito se cargaría desigualmente la cimbra,

imponiéndole un peso excesivo hácia un solo lado, el cual no estando compensado por el opuesto iniciaría un desequilibrio en la resistencia de la cimbra siendo esto por sí solo capaz para producir la rotura de la misma.

Mas conviene aquí en esta colocación de dovelas á lo largo de sus respectivas hiladas, que además de cumplir con el buen contacto realicen del mismo modo las condiciones importantes que se refieren á la exacta disposición de cada piedra, cuales son: que las generatrices del cilindro y especialmente las que representan las líneas de junta ó de lecho satisfagan á la situación verdadera que se las tiene designadas en el plano de montea; esto es, que nos aseguremos que en su situación respondan á la altura y vuelos correspondientes á cada una con relación á la bóveda de que forman parte. Lo primero se logra con una regla en donde están fijadas las alturas de cada una de estas generatrices con respecto al arranque, (Fig. δ), esta regla *α z* se llama *regla de alturas;* lo segundo se corrige valiéndonos del sencillo instrumento llamado *regulador de juntas* (*) (Fig. δ')

La regla de alturas la tendremos fácilmente, si en el plano de montea proyectamos todos los puntos *a*, *b*, *c*, *d*... etc., de altura de las generatrices sobre el eje *C O* en *0*, *1*, *2*, *3*, *4*... etcétera y de allí trasladamos las distancias con la exactitud posible, en una regla *α z* (Fig. δ) sobre la cual escribiremos la numeración de partes por el orden que se hayan obtenido.

En cuanto al regulador de juntas éste se compone (Fig. δ') de un bastidor *a" b" c" d"* de forma cuadrada; construído de madera, dos travesaños y dos largueros sólidamente ensamblados, lleva consigo unido en dos de sus lados un cuadrante también de madera y del mismo grueso, dividido en tantas partes iguales como indique la mitad del número total de juntas, y por último en el eje del larguero *a" d"* y prendido del centro *O* del cuadrante cuelga una plomada *P*.

Colóquese este instrumento, (antes de emplearlo definitivamente en obra) en el dibujo que representa el alzado en el plano de montea; de modo que el lado *a" d"* coincida con la dirección de cada una de las juntas: entonces es evidente que en cada posición el ángulo que formará la plomada con el lado *a" d"* será igual al ángulo que cada junta forma con la horizontal de arranque *A B*, esto es el ángulo al centro co-

(*) Por nuestros prácticos se conoce con el nombre de *Plom centradó*.

rrespondiente (pues dos lados de uno de estos ángulos son respectivamente perpendiculares á los del otro) así pues si se considera la cuarta junta *e e'*, claro está que la plomada coincidirá con la cuarta división del cuadrante, (lo que servirá después esto mismo de comprobación de la junta; en este estado la plomada prolongada rasará sobre una regla horizontal dispuesta en *A B*, dejando en ella un rasgo que señalaremos con el número 4, entonces la distancia *A-4* tomada sobre la regla *A B* nos indicará lo que sobresale la generatriz *e* del arranque *A*. Si pues reproducimos igual operación para los demás puntos *b*, *c*, *d*... etc., tendremos una serie de puntos indicadores *1*, *2*, *3*, *4*, etc., y con ellos las distancias *A-1*, *A-2*, *A-3*... etc., sobre la regla *A B* y esta dividida y numerada en esta conformidad, podrá servir ya desde luego para aplicarla practicamente en el aparejo en construcción conociendo de este modo las voladas respectivas de dichas generatrices.

Con estos elementos podremos ya desde luego llevar á cabo la colocación de las dovelas de modo que vayan á ocupar su debida posición que se las tiene reservada en la bóveda. Así, se empezará colocando la regla numerada *A B* que esté bien horizontal coincidiendo su arista superior delantera con el diámetro de arranque del arco, hecho esto, si se trata de la colocación de la cuarta junta que pasa por el punto *e*, emplearemos *el regulador* de juntas colocándolo tal como muestra la figura y se ha indicado poco há; si la volada de la generatriz *e*, está conforme, entonces la plomada indicará la división *4'* en el cuadrante y su prolongación encontrará también el ras de la regla horizontal *A B* en la división *4''*; luego se comprobará su altura valiéndonos de la regla de alturas, colocándola bien vertical de *4''* á *e* de modo que el cero de la división corresponda en el canto horizontal superior de la *A*, *B*, entonces si el punto divisorio *4* de la regla vertical coincide con el punto *e*, tendremos seguridad de la verdadera posición de la generatriz, y de no ser así, se habrán de corregir los defectos que se observan hasta tanto queden cumplidos los requisitos indicados.

Así se procederá para las demás generatrices, cuyas operaciones habrán de repetirse para el paramento opuesto, así como del mismo modo en las secciones de los cuchillos intermedios si es que estos últimos en su disposición lo permiten hacer, algunas dovelas, pues depende en ellas según como

vengan las juntas alternadas. Finalmente colocadas ya todas las generatrices de junta así como las *m-1* dovelas quedará tan solo el hueco central destinado á la hilada de clave, de cuyo hueco se tomarán las medidas exactas para trasmitirlas á la clave y una vez ésta labrada, podrá ya colocarse entrándola en dicho hueco, bajándola cuidadosamente en él para ocuparlo en toda su extensión para ella reservado, con la coincidencia necesaria de juntas.

284. Repicado.—A pesar de las precauciones por cierto laboriosas que se toman para la colocación y labra de las piedras, acontece con frecuencia ser indispensable para dar la última mano á las obras, retocar y corregir ciertos defectos, como son: líneas que han de ser seguidas y se presentan interrumpidas ó sinuosas, proominencias ó ligeras protuberancias en determinados sitios de paramentos vistos, huecos provenientes del mal labrado ó ya de la calidad especial de la piedra, caras que han de presentarse con una inclinación determinada y se vislumbra no tenerla ó cuando menos estar aquella adulterada, etc., etc., amén de que cuando exprofeso se dejan los paramentos simplemente bosquejados momentáneamente; que entonces si, es forzoso y se impone el retoque y repicado. En general esta operación se empieza por la parte superior de la construcción terminándola en la inferior, y hay casos particulares en que conviene efectuar el repicado á la vez y alternativamente en todas las partes de la obra y pudiendo comparar así mejor el género de trabajo necesario para añadir por una parte y quitar en otra la parte de piedra necesaria para la uniformidad del conjunto.

Esto pues nos hará comprender que todo el trabajo referente al repicado y retoque ha de consistir en absoluto, solamente en repasar todas las partes de la construccion que hayan quedado deficientes ya por la imperfección del trabajo, ya también por haber sufrido algún menoscabo durante la prosecución de la obra.

Aquí en nuestro caso el repicado ha de consistir en asegurarnos que toda la superficie cilíndrica de intrados de la bóveda sea bien continua apareciendo limpias y francas todas las generatrices.

A este efecto y próximas á la embocadura de la bóveda, se abrirán con el cincel unos pequeños recalces ó acanaladu-

rás en el sentido de la sección recta, á cuyo fin se situará al nivel de los arranques y en la dirección perpendicular de las generatrices una regla bien horizontal y al tope con los muros ó paramentos laterales. Estas reglas que pueden estar divididas como hemos indicado con la *A B* servirán de líneas de comparación para tomar las debidas alturas ú ordenadas desde el plano de arranque á los verdaderos puntos de la sección recta (dato que conoceremos por el dibujo de la montea). Así estas líneas verticales de cota, nos irán indicando en el intrados de la bóveda y con el auxilio del cincel, el punto de marca que alcance la generatriz que por él pase, obteniendo de este modo una serie de puntos sueltos que luego es necesario unir para que nos dén la sección recta indicadora, en el intrados.

Procédase para llevar estas operaciones con la debida exactitud, á la construcción al natural de una cercha de madera que afecte la misma forma de la curva de la mentada sección recta deducida del plano de montea; colóquese luego ésta bien vertical de suerte que se levante sobre la regla horizontal antes referida en cuyo caso tendrá que coincidir con el intrados de la bóveda, llevando la misma dirección de los puntos de marca anteriormente trazados, en cuyo caso se dibujará un trazo con el lápiz del cantero alrededor del contorno ú orilla del bisel de la cercha; esta línea así dibujada nos indicará la dirección del canal continuo que habremos de abrir uniendo ahora todos los puntos antes marcados, toda vez que la pequeña profundidad de la acanaladura será exactamente igual á la que se dió á los puntos en cuestión. Esta línea así obtenida, y su igual colocada en la otra embocadura y quizá si el caso conviene en otras secciones intermedias, servirán enseguida de base para las operaciones haceders cuyo objeto sea la descarga ó desvaste de las pequeñas excedencias.

El empleo de reglas de suficiente longitud para poder resbalar sobre estos arcos señalados, servirá de medio suficiente para que nos pueda indicar las faltas que afecte la parte intermedia entre los puntos de enrase ó de nivel, quitando todo lo que se oponga al movimiento de generación de esta regla, cuyo canto superior se confundirá con la generatriz, ó bien nos hará comprender mas notoriamente, las cavidades que resultan á consecuencia del mal labrado, y entonces de ser

admitidas no hay otra solución que suplirlas por medio del *mastic del cantero* (*).

El arreglo y repicado, puede también partir de la base de una nueva generación; esto es, tomando en cuenta varios puntos de las líneas acanaladas de que anteriormente se ha hecho mención y entonces una cercha de madera cortada según la sección recta de la bóveda, podrá engendrar ésta moviéndose paralelamente en el sentido de las generatrices, conservándose en todas las posiciones paralelas á la sección recta. En este movimiento y distintas posiciones que tomará nos irá indicando la excedencia que se ha de descargar ó hueco que suplir, una vez estos cerchones queden perfectamente alojados en toda su periferie á lo largo del contorno de las distintas secciones rectas de la bóveda dándonos así una superficie bien continua de la misma.

(*) Mastic del cantero: Se compone de Colofania (pez griega) y piedra machacada y reducida á polvo fino. Esta mezcla ó betún, se vierte en caliente en los huecos que se tratan de suplir, adquiriendo enseguida la adherencia con la piedra, así como una gran dureza que permite perfectamente la reproducción del retoque con el cincel. Puede acudirse á este recurso cuando llegan medios extremos ó necesidades imprescindibles, pero de lo contrario sería un abuso que habría de impedir á todo trance el Director de la Obra. Suelen hacerse con tal perfección semejantes composturas, que algunas veces es difícil descubrirlas. Para esto, se echa un poco de agua, sobre el paramento de la piedra, y el líquido descubrirá, enseguida tamaño remiendo.



CAPITULO DUODÉCIMO

PUENTES OBLÍCUOS

285. Cuando el eje de un cañón seguido no es perpendicular á las bases de éste ó lo que es lo mismo á sus planos de paramento, entonces la bóveda cilíndrica se llama *en esbiage*, la cual considerándola en gran extensión, da lugar á uno de los estudios modernos más importantes, cual es, el que se refiere al dibujo, trazado y construcción de los *Puentes oblícuos*. Muchas y complejas son las dificultades que ofrecen, muchas é ingeniosas también las soluciones propuestas y luego practicadas por sabios eminentes, tanto en el terreno teórico como en el directo y que entra en el ancho campo de los hechos tangibles, encontrando sucesivamente resultados más ó menos satisfactorios de los que siempre se desprenden provechosos frutos, ya sea considerando el problema dando preferencia á las condiciones geométricas, ó que se haya tenido en cuenta de un modo exclusivo la esencia mecánica que los mismos hechos desarrollan.

286. Empuje en falso.—Cuando se ha tratado del cañón seguido recto (268) se ha visto que las líneas de junta continuas eran las propias generatrices, y los planos que pasaban por ellas y el eje del cilindro (siendo circular la sección recta) constituían las juntas de lecho, mientras que las líneas y su-

perficies de junta discontinuas, eran precisamente las líneas y planos de sección recta; cumpliéndose así todas las exigencias geométricas y estáticas que pueden apetecerse.

Se trata ahora de un cilindro oblícuo, y de seguir en él obrando del mismo modo, aparecerían graves inconvenientes que tenderían á derribar el sistema, siendo precisamente el objeto principal del estudio, evitar tamaña dificultad.

Sea (Lám. 20, Fig. 165) $M N M' N'$ el plano de arranque de una bóveda que se supone de construcción homogénea. De momento puede observarse que de todas las secciones que hagamos pasar por el punto A, la más pequeña de todas es aquella que está contenida en el plano, cuya traza horizontal es $A\ c$, que está también contenida en el plano normal al eje $a\,b$ de la bóveda; esto es, el que hemos apellidado de sección recta.

Además, téngase en cuenta que el movimiento que tiende á producirse en la bóveda, no viene á ser mas, que la consecuencia del esfuerzo, que cada molécula ejerce en virtud de la gravedad, sobre las moléculas contíguas situadas en el plano inmediatamente inferior.

El esfuerzo de que se trata propagándose en todos sentidos, tiende á concitar movimientos de muy distinta naturaleza unos de otros; y á reducir por la contracción el desarrollo de las diversas secciones verticales de la bóveda.

Pero en estos movimientos siempre muy pequeños, las secciones rectas que son las líneas de máxima curvatura; experimentan por su parte la mayor compresión. Deben, pues, reaccionar con más fuerza que las otras secciones verticales, y efectivamente está corroborado por la práctica que en su plano es en donde está ó se dirige el principal esfuerzo ó resultante de los empujes y que tiende á derribar los pies derechos y la parte inferior de la bóveda.

Este esfuerzo puede dominarse en la práctica por medio de la cohesión de los morteros, por su adherencia con los materiales de construcción y finalmente por el grueso y macizo de los apoyos.

Cortemos el cilindro $M N M' N'$ por dos planos verticales $A B$, $A' B'$, paralelos entre sí, y oblícuos al eje; resultará así un cilindro en esbiage que tendrá la misma sección recta que el cañón recto antes considerado; si ahora, desde los ángulos A, D, A', D', se hacen pasar planos verticales per-

pendicularmente á los apoyos, y que se considera enseguida los efectos del empuje que se ejerce según el arco de mayor contracción en cada una de las zonas así obtenidas, podrá inferirse que la zona central es la única en la cual las fuerzas que tienden á derribar la bóveda encuentran en los apoyos la resistencia suficiente para neutralizar aquella nociva acción.

En los trechos $A\,c\,d\,D$, $A'\,c'\,d'\,D'$, los esfuerzos que allí se producen, tienden á derribar los ángulos agudos D y D' que á simple vista no ofrecen resistencia suficiente, y finalmente las porciones $A\,B\,e$, $A'\,B'\,e'$, los empujes paralelos á $A\,c$ no están contrarrestados por cierto hacia el punto A, A' por ningún apoyo, de manera, que allí no se desarrolla ninguna resistencia para oponerse á aquel pernicioso efecto, y por consiguiente vendría inmediatamente la caída de las dovelas hacia fuera de la bóveda. Este esfuerzo desarrollado en estas condiciones es el que se conoce con el nombre de *empuje en el vacío*, *empuje en falso*. Como nosotros hemos supuesto la bóveda homogénea, aquí en este caso el empuje en falso resulta tan sólo de la elasticidad de los materiales y de la forma de la superficie cilíndrica. En estas circunstancias especiales, es pues, independiente del aparejo que pudiera emplearse; pero en la práctica, las construcciones se encuentran bien lejos de ser homogéneas, y es sabido que la cohesión de los morteros y su adherencia con los materiales pueden cooperar, si bien artificialmente, á la resistencia que se oponga al derribo, ya también secundando los distintos movimientos de reacción necesarios para desviar los esfuerzos del empuje. Si se considera que el corte de piedras tiene por objeto precisamente el estudio del aparejo y con él la formación de una serie de juntas de rotura artificiales, así como el transformar ciertos esfuerzos en otros, cuya dirección sea más favorable para la mayor resistencia, de aquí es que sea fácil comprender que según sean las condiciones del aparejo que se elija así las circunstancias que presidan, el empuje en falso sea de más ó menos entidad, llegándose según esto á anular casi por completo dicho empuje de haber tenido la suerte de acertar con la mejor disposición de que sea susceptible dicho aparejo.

En tiempos más lejanos, cuando aun no eran conocidas estas grandes vías de comunicación, en donde se asientan los rails del Ferro-carril, no se presentaban nunca ocasiones

para la construcción de Puentes oblícuos y en el caso de construirse, eran de poca extensión é importancia tales, que ya se prescindía del esbiage, aparejando el puente por el sistema del cilindro recto, ya se sustituía á este pasaje oblícuo por otro recto, desviando al efecto y de momento la dirección del camino, ya finalmente se echaba mano de los dos aparejos conocidos por *Paso en esbiage* y *Cuerno de vaca*, con los cuales empezaremos, al pasar en revista las distintas y principales soluciones, limitándonos tan sólo en su extensión á la índole de este libro.

PASO EN ESBIAGE

287. Fundamentos.—De hacer pasar los planos de junta por el eje oblícuo del cilindro resultará: 1.° que estos no serán perpendiculares á las caras de paramento. 2.° El peso de cada dovela se descompondrá en dos fuerzas una perpendicular, la otra paralela á la junta; la primera la empujará, la segunda tenderá al resbalamiento, esta última en virtud del esbiage no podrá su dirección ser paralela á la cara de paramento; luego dicha fuerza originará una componente perpendicular al muro de apoyo, produciendo como á consecuencia el empuje en falso que tienda á destruir el sistema. Si pues se logra cambiar la dirección de estos planos de junta por otros que dirijan los esfuerzos, de modo que obren todos dentro del recinto de la bóveda, paralelos á la cara de paramento, yendo todos á trasmitirse en la superficie de apoyo de los planos de arranque, se habrán plenamente conciliado los dos inconvenientes antes expresados, evitando por lo mismo el empuje en falso. Con dirigir pues los planos de junta perpendiculares á las caras de cabeza, tendremos resuelta la cuestión, quedando solamente la elección de la recta por donde hayan de pasar, la que la misma naturaleza de las cosas lo indica, al colocarla de modo que esté simétricamente colocada con respecto á la forma y situación de la bóveda, y así neutralizar las irregularidades del despiezo de cada uno de los lados.

Supongamos que sea $A\,B\,C\,D$ (Fig. 166, Lám. 20) el paralelógramo situado en el plano de arranque y que constituye la planta del paso, el cilindro que lo cubre tiene su eje $e\,f$ oblícuo con respecto á las caras de paramento $L\,T$, $A\,K$ en las cuales hay establecidas las bases de dichos cilindros, las

cuales son dos semicircunferencias proyectadas en verdadera magnitud en el plano vertical y según las rectas $A B$, $D C$ en el plano horizontal. El punto O' intersección de las diagonales de dicho paralelógramo, siendo el que reune las condiciones de simetría con respecto de los vértices del paralelógramo considerados dos á dos, es el que será apropósito para hacer pasar por él la recta $O O''$ perpendicular al plano vertical y situada al mismo tiempo en el plano de arranque, recta muy importante, pues según hemos dicho anteriormente, va á servir para hacer pasar por ella todos los planos de junta, los cuales mediante esta condición serán evidentemente perpendiculares á las caras de cabeza. La disposición de estas juntas puede practicarse del modo siguiente: haciendo centro en O y con el radio $O D$, tracése una semicircunferencia $D I H G$, dividiéndola luego en un número impar de partes iguales, haciendo pasar enseguida por cada uno de los puntos de división y el centro O, rectas que prolongaremos hasta encontrar las horizontales que indican ser los planos de asiento. Dichas rectas representarán como hemos dicho las trazas verticales de los planos de junta, que reunirán ya la condición de ser perpendiculares á los dos paramentos. Quedará luego reducido para limitar las caras de las dovelas, el trazado de las verticales $K' K''$, $Z J'$, representación de planos de perfil con que terminan las piedras lateralmente.

Hemos escogido la semi-circunferencia $D I H G F$; para que nos guiara en el trazado de juntas porque quedando en ella inscritos simétricamente los arcos de embocadura, concilia mejor y por igual los defectos de irregularidad que trae consigo la misma naturaleza de los datos.

Dichos planos es evidente que cortarán la superficie de intrados del cilindro según una serie de arcos elípticos proyectados verticalmente según las mismas trazas verticales de los planos referidos; así es que si nos proponemos encontrar la proyección horizontal de la sección elíptica que produce el plano de junta $E' J'$ con dicho cilindro, dispondremos las operaciones, echando mano de una serie de planos verticales $R S$, $T U$, $V X$ paralelos á las bases del cilindro, éstos le cortarán según una serie de circunferencias proyectadas en verdadera magnitud en el plano vertical y en las rectas $i\ i''$, $h\ n$, $g\ g''$, y sus centros en $d\ d''$, $c\ c'$, $a\ a'$, dados por el encuentro de estos planos con el eje.

Si ahora tomamos en consideración los puntos E', M', N', P', Q' situados en la sección vertical del plano secante, en donde aquella es cortada por la serie de líneas circulares antes obtenidas se inferirá ser éstos los puntos de la línea que buscamos, y por lo tanto, proyectando cada uno de ellos horizontalmente en la respectiva traza del plano que lo ha producido, llegaremos á obtener los puntos de la proyección horizontal Q, P, m, M, E, que unidos darán por resultado la curva que buscamos. Iguales operaciones nos darán las curvas correspondientes á los otros planos.

288. Obtenidas que sean estas secciones; la determinación de plantillas es sumamente fácil, todas son de forma trapecial mixtilínea, cuyos lados paralelos son las intersecciones de los paramentos con dicha junta, la altura del trapecio es la recta producida por la intersección de esta junta con el plano de asiento horizontal, y finalmente el lado curvilíneo es la sección elíptica del mismo plano con el cilindro; así la junta entera $E' J'$ se proyecta horizontalmente en $E\ m\ P\ Q\ J\ J'$.

La verdadera magnitud de esta plantilla del lecho lo mismo que las de las demás juntas es también muy fácil por la misma forma que afectan, pues queda reducida la cuestión á ir formando en el plano de montea el referido trapecio con los datos de las proyecciones. Así en la (Fig. 166') sobre $J\ J''$ que representa la altura (deducida de la proyección horizontal porque allí está en verdadera magnitud), se trazarán las perpendiculares $J'' L'$, $Q\ J$ respectivamente iguales á $E' J'$, $Q' J'$ de la proyección vertical; un punto intermedio entre E' Q' por ejemplo el P se encontrará tomando $J''\ P''$ igual á $J'\ P'$ de la proyección vertical, y luego la distancia á escuadra $P''\ P$ igual á $P''\ P$ de la proyección horizontal; y así los demás puntos intermedios de la curva. El resultado será la figura $L'\ J''\ J\ Q\ P\ m\ M\ L'$.

289. **Labra.**—Fig. 166'' Se construirá una prisma que tenga por bases la máxima proyección vertical de la piedra que afecta la figura $E' J' K' K'' E\ E'$, y la altura la separación $K\ K''$ de los dos planos de paramento. Sobre la cara anterior de este prisma labrado colóquese la plantilla $F\ K'\ K\ J'\ Q'$. Igualmente se podrá colocar la plantilla inferior del arranque expresada en $P'\ F\ K'\ K'''$ deducida de la proyección horizontal. Desvástese luego la parte del prisma hasta obtener el cilin-

dro encerrado en las líneas *N' Q' F P"* y al efecto colóquense en los arcos de embocadura *N' P"*, *Q' F* una serie de puntos de marca *1-1'*, *2-2'*, *3 3'*, que nos indicarán aquellos por los cuales se apoya la generatriz del cilindro al resbalar por los arcos de base; desvástese pues todo el excedente de la piedra hasta llegar á alcanzar este cilindro de intrados ó sea lugar geométrico de aquellas generatrices La manera de trazar éstas en la piedra del espacio depende de la situación que de antemano se las ha dado en las proyecciones, en su virtud se marcarán en las mismas, fig. 166 las rectas horizontales paralelas al eje del cilindro *1-1'*, *2-2'*, *3-3'*, etc., estas rectas se apoyarán en el límite de la embocadura de la piedra, esto es, en los arcos *F Q'*, *C E'* y también quizás habrá algunos en *E' Q'*; señálense bien estos puntos y ellos serán trasladados junto con las plantillas á la piedra que se va á elaborar y entonces dos á dos los puntos de marca nos señalarán la dirección de la regla, en el desvaste para que nos dé la generatriz correspondiente.

290.—Aquí hemos supuesto que la piedra que labramos interesaba todo el grueso del muro, más la profundidad podría ser tal que conviniera el despiezo en juntas discontinuas, en cuyo caso echaríamos mano de los distintos planos verticales *R S*, *T' U*, *V X* y de que ya hemos hecho antes mención, pero que ahora se tomarán en cuenta interrumpiendo las secciones circulares que producen y esto haciéndolo de una manera alternada, tal como muestra la figura. De quí se infiere que si escogiéramos en la labra la misma piedra que anteriormente, ésta alcanzaría según el convenio que hemos hecho; la profundidad que indica la separación de los planos *T' U* y *A B* de modo que entonces la plantilla de lecho estaría definida en la figura 166' según el trapecio mixtilíneo *Q J s m P Q* la cual forma parte de la total encontrada.

CUERNO DE VACA

291. Fundamentos.—El paso en esbiage que acabamos de pasar en revista obligó á los planos de junta á ser perpendiculares al paramento, todo para evitar el empuje en falso y de transmitir los esfuerzos paralelamente á las caras de paramento y así trabajaran en los arranques de la bóveda los muros de apoyo; más esto ha llevado consigo que las seccio-

nes de las juntas con el intrados del cilindro fuesen líneas curvas, complicando quizá algún tanto el problema, el cual por otra parte no producía tan buen efecto como el que resulta de los cañones rectos al aparecer en sus intrados la simple línea recta generatriz natural del cilindro.

. De persistir pues que aparecieran en líneas rectas, las juntas en la superficie de intrados, conservándose el esbiage así como las superficies planas continuarán siendo perpendiculares á los paramentos, habíase de desistir forzosamente de emplear la superficie cilíndrica para cubrir el intrados y en cambio sustituirla por otra que se prestara á ser cortada por una serie de planos perpendiculares á las caras de paramento con la condición precisa de que las líneas de intersección con el intrados fuesen rectas. Planteadas las condiciones del problema en esta forma la superficie se imponía por sí misma pues venía á estar forzada á contener: 1.° la curva de paramento anterior 2.° la curva de paramento posterior (puesto que estas dos curvas limitan el paso) y 3.° una recta perpendicular á las caras de paramento (por obligarlo así la condición de que los planos de junta llenen este requisito). Luego la superficie había de estar engendrada por una recta que se moviera resbalando sobre esta tres directrices esto es, dos curvas y la recta infiriéndose desde luego el empleo de una superficie alabeada, la cual y en las condiciones de forma y posición de las referidas tres directrices, es el motivo bastante para que quede designada esta superficie con el nombre de *cuerno de vaca.*

292. Partiendo pues de datos análogos á los anteriores, supondremos que en la Fig. 167, Lám. 20, *A B D C* representa la planta del paso que hay que cubrir, las semi-circunferencias *C' Q D'*, *A Q B*, son los arcos de paramento y la recta *O"*, *O' Y* perpendicular al plano vertical, la tercera directriz; esta recta determinada en las mismas condiciones que en la solución anterior y esto también por las mismas razones allí expuestos. En virtud de los expresados datos se concibe fácilmente como pueden obtenerse las líneas generatrices; así, todo plano tal como *Y O' M'* que pasa por la directriz rectilínea nos corta en los puntos *N-N'*, *M-M'* á las dos curvas del dato, y uniendo estos dos puntos, la recta que así resulta y suficientemente prolongada cumplirá con la condición requerida, porque se apoyará en *M-M'* en una curva,

en *N-N'* en la otra curva, en *O''-O'* en la directriz rectilínea y finalmente esta última recta será el resultado del corte del plano de junta *Y O' M'* en esta particular superficie engendrada.

Trácese la semi-circunferencia *C' P B* como en el caso anterior circunscrita á las proyecciones verticales de los arcos de paramento dividiéndola en un número impar de partes iguales, igual al número de hiladas que queramos contenga la bóveda; la unión de todos estos puntos con el *O'* nos darán la serie de rectas *I H'*, *K E'*... etc., y representarán las trazas verticales de los planos de junta que así, todos pasarán por la recta *O' Y*. Terminando luego estas juntas en los asientos horizontales del dato que pasan por los puntos *I*, *K*... etc., así como en los planos verticales que pasan por estos mismos puntos lograremos terminar el despiezo de esta bóveda.

293. Es también muy fácil el examen de las plantillas correspondientes á las juntas del lecho pues si nos fijamos en la *K E'* ésta afecta la forma de un trapecio cuyos lados paralelos respectivos son las intersecciones de este plano con los dos paramentos, esto es las rectas *K E'* y la *K F'* que se proyectan en las trazas horizontales de los planos de paramento y la altura es el grueso *C C'* del muro siendo el tercer lado *F E-F' E'* el corte del plano con el intrados. No hay duda pues que con estos datos puede encontrarse en la Figura 167' la verdadera magnitud.

294 **Labra.**—Fig. 167''. Escógese un prisma cuyas bases *E'' H'' 1 J K E''*, *E H 1' J' K' E* sean la máxima proyección vertical, y la altura *I I'* el grueso del muro. Colóquese sobre la base superior la plantilla *F G 1 J K* deducida de la cabeza de la piedra situada sobre la cara anterior. Ya desde luego podemos colocar las plantillas de junta *G 1 1' H* por una parte y por otra la *F K K' E* deducidas conforme hemos indicado. Restará no más ahora desvastar toda la parte excedente hasta obtener el labrado de la superficie alabeada de intrados que pasa por *F G H E*, y este labrado se llevará á cabo con el auxilio de varias generatrices *1-1' 2-2' 3-3'*..... etc., cuales puntos vendrán ya indicados en las curvas de paramento al colocar las plantillas de cabeza, toda vez que con

antelación se habrá tenido buen cuidado de señalar en la proyección vertical Fig. 167 el número suficiente de generatrices de esta clase *1-1'*, *2-2'*, *3-3'*..... etc.

295. Aquí como en el caso anterior hemos supuesto que la piedra interesaba todo el grueso del muro, más en el caso de ser considerable su espesor se recurre al despiezo de juntas discontinuas, siendo éstas los planos *c d*, *e f*, *a b* paralelos á los planos de paramento como en el paso en esbiage; pero aquí no cortan como allí á la superficie de intrados según circunferencias y sí, en curvas tales que todas tienen la propiedad, por la naturaleza especial de la generación; de pasar sus proyecciones verticales por el punto *Q*. Esta propiedad y la figura especial que afectan en la proyección, los arcos circulares simulando dos cuernos el uno en *C' A Q* y el otro *D' B Q* unidos los dos por el vértice *Q* ha motivado se denominará como se ha expresado al principio de esta solución.

De todos modos estas secciones de junta discontinua, como el mismo nombre lo indica han de interrumpirse alternativamente en las hiladas de las secciones producidas en la superficie de intrados, apareciendo en ella según líneas tales, *p q*, *a' g*, *n i*..... etc.

296. La superficie especial de intrados tiene la original propiedad de que las proyecciones horizontales de sus generatrices se cortan de tal manera que el lugar geométrico de todos estos puntos forman una línea poligonal que considerada en el límite constituye una hipérbola. Para esta propiedad y para la ecuación de dicha superficie, véase la nota adjunta (*).

(*) Ecuación de la superficie: Se toman por ejes coordenados. 1.° La directriz rectilínea *O Y*. 2.° La vertical *O Z*. 3.° La recta *O X* perpendicular á las dos primeras; así las ecuaciones de las tres directrices serán:

$$x = 0, z = 0$$
$$y = -b, (x - a)^2 + z^2 = R^2$$
$$y = +b, (x + a)^2 + z^2 = R^2$$

Aquí en estas ecuaciones la generatriz tendría cuatro constantes arbitrarias; más al objeto de abreviar los cálculos representaremos esta recta por

$$x = \alpha (y - \beta), (1) \quad z = \gamma (y - \beta) \ (2)$$

cumpliendo ya la condición de encontrar al eje *O Y*, al mismo tiempo que queda eliminado enseguida uno de los parametros,

297. Paralelo entre el simple paso en esbiage y el cuerno de vaca. El cuerno de vaca es, pues, preferible al paso en esbiage: 1.° Por la propiedad que presenta de ser cortado por los planos de junta, por medio de líneas rectas. 2.° Por estar las plantillas formadas solamente de líneas rectas y por lo tanto más fáciles, encontrándoselas con mayor rapidez, y 3.° Por la mayor facilidad en la labra, pues que los puntos de marca de las generatrices se encuentran no mas en los arcos de paramento siendo enseguida trasladados en la piedra, mientras que en el pasadizo en esbiage se encontraban en las cuatro líneas del contorno del intrados cilíndrico de la piedra, obligando con esto á deducirlas en los rebatimientos, ó sean las verdaderas magnitudes de las plantillas. En cambio el cuerno de vaca ofrece dos inconvenientes bastante notables, de los cuales está exento el otro aparejo, y son el uno la visible hinchazón ó convexidad que aparece hacia el centro de la parte culminante, cual defecto se puede notar per-

---

Expresando ahora que esta recta móvil se apoya sobre cada una de las circunferencias, tendremos con esto las relaciones.

$$[\alpha(b+\beta)+a]^2+\gamma^2(b+\beta)^2=R^2 \quad (3)$$
$$[\alpha(b-\beta)+a]^2+\gamma^2(b-\beta)^2=R^2 \quad (4).$$

Con las cuales efectuando la sustracción resulta

$$\beta(b\alpha^2+a\alpha+b\gamma^2)=o$$

Se podría satisfacer esta condición para $\beta=o$; más esta hipótesis expresaría que la recta (*1*) y (*2*) pasa constantemente por el origen, describiendo un cono apoyándose sobre la mitad superior sobre uno de los círculos directores y en la mitad superior del otro.

Pero este modo de cumplir las condiciones analíticas del problema no podría convenir á nuestra bóveda; y esta es la razón porque prescindiremos del factor $\beta=o$, el cual, combinado con las ecuaciones (*1*), (*2*), (*3*), vendrian á darnos una ecuación de un cono oblícuo; así pues conservaremos tan solo la ecuación $\alpha^2+\gamma^2+\frac{a\alpha}{b}=o$, (*5*) en virtud de la cual la fórmula (*3*) se convierte en

$$(b^2-\beta^2)\,a\alpha=b(R^2+a^2) \quad (6)$$

Así las cosas tratemos de eliminar α, β, γ entre las dos relaciones (*5*) y (*6*) y las ecuaciones de la recta móvil. Ahora bien, si de estas últimas se encuentra el valor de α y γ para luego sustituirlos en la (*5*) se encontró.

$$\beta=y+\frac{b(x^2+z^2)}{a\,x},\quad \alpha=-\frac{a\,x^2}{b(x^2+z^2)},$$

finalmente estos valores de α y β sustituidos en (*6*), darán para la ecuación de la superficie

$$\left[y+\frac{b(x^2+z^2)}{a\,x}\right]^2-b^2=b^2(R^2-a^2)\left(\frac{x+z^2}{a^2x^2}\right) \text{ ó bien}$$

fectamente en la figura 167 dibujando la curva de sección $\alpha'\,Q\,\beta'$ producida por el corte del intrados del cuerno de vaca con el plano vertical que se levanta por la recta $\alpha\,O\,\beta$ pasando por la recta $\alpha\,\beta$ que á su vez pasa por los centros α y β de los arcos de embocadura; y el otro el no ser circunferencias las líneas de sección paralelas á las caras de paramento, todo lo cual produce efecto sumamente desagradable.

Sea como fuere, ya sea que se considere una ú otra de estas soluciones, siempre resultarán defectos de gran monta, admitido el caso de que se vaya acentuando el esbiage ó aumente por otra parte la profundidad del pasaje, apareciendo los siguientes defectos: 1.° La irregularidad de la forma de las dovelas irá siendo cada vez más notoria, produciendo así en el dibujo un conjunto desagradable, chocante y de feo aspecto. 2.° Las intersecciones de los paramentos con los planos de junta serán rectas que irán siendo cada vez menos normales al intrados, acentuándose también algunos ángulos agudos de las dovelas, por cuyo motivo hay peligro de esportillarse las piedras alrededor de las partes vulnerables, por el movimiento del aparejo general, al llegar la época del

---

$$[a\,x\,y+b(x^2+z^2)]^2=b^2R^2x^2+b^2(R^2-a^2)\,z^2$$

Esta superficie alabeada, tiene por centro el origen de coordenadas, pues resulta que su ecuación no contiene más que términos de grado par; siendo el plano de las $(x\,y)$; un plano principal.

Si consideramos ahora la intersección sucesiva de las proyecciones horizontales de las generatrices encontraremos una serie de puntos tales como t, u, x, y, z; que mudos nos darán una linea poligonal, que en el límite será una curva envolvente de todas las posiciones de aquellas, tangente por lo tanto á cada una de dichas generatrices. Esta curva será una hipérbola. En efecto; combinando la ecuación (*1*), con la relación encontrada en (*6*) y eliminando una de las constantes α, β, se tendrá para la proyección de una cualquiera de las generatrices $y-\beta=\frac{a(b^2-\beta^2)}{b(R^2-a^2)}\,x$, (*8*)

así es que si damos ahora á β varios valores arbitrarios, se podían obtener varias posiciones de la recta móvil, sobre el plano de las $X\ Y$.

Recordando ahora que para obtener la curva formada por las intersecciones sucesivas de todas estas rectas, suponiéndolas infinitamente próximas; se hace preciso diferenciar la ecuación (*8*); con relación al solo parametro variable β, tendremos $1=\frac{2a\beta x}{b(R_2-a^2)}$;

finalmente eliminando β entre este resultado y la ecuación (*8*), tendremos la ecuación

$$x^2-\frac{(R^2-a^2)}{a\,b}\,x\,y+\frac{(R^2-a^2)^2}{4\,a^2}=o$$

lo cual nos indica que la curva que hemos hecho mención es una hipérbola en la cual el eje $O\ Y$ es una de las asíntotas.

descimbramiento. 3.° Cuando se emplee el cuerno de vaca, se hará á cada momento más sensible la parte bombeada superior en virtud de la mayor discrepancia entre las posiciones de la generatriz culminante perpendicular á los paramentos y 4.° Los puntos de división del arco en sus paramentos, discreparán mucho más en su nivel del correspondiente á los puntos de división del arco del paramento opuesto.

Mr. L'Eveille lo empleó en un puente de dos ojos, teniendo cada uno 7'40 de luz, 33° de esbiage, pero la profundidad era de 1 metro solamente.

298. En vista de los inconvenientes antedichos, ya generales de estos dos aparejos ó ya particulares de cada uno de ellos, se les dejó de emplear para cuando la importancia del puente fuese digna de tenerse en cuenta ya por su gran extensión ó ya por la demasiada acuidad del ángulo del esbiage Intentóse, pues, estudiar la cuestión para poder sustituir á aquellas soluciones, otras, que reuniendo las buenas propiedades de aquéllas, estuvieran exentas por otra parte de los defectos que se han señalado. Más, en realidad, lo que se hizo al principio de iniciarse semejante estudio, fué, en lugar de atacar directamente al problema para vencerlo en sus no escasas dificultades, buscar, por el contrario, caminos y rodeos para no encontrarse frente á frente de tamaños inconvenientes, alterando algún tanto la índole de la cuestión, ya también haciendo sufrir en su esencia variaciones al mismo dato. A este efecto se propusieron otros dos sistemas, cuales fueron el de *división en zonas* y el otro el de *arcos escalonados ó en resalto*.

División en zonas parciales é independientes, paralelas á los planos de cabeza, formando anillos cilíndricos de profundidad muy reducida

299. Este sistema fué empleado por primera vez por el ingeniero Mr. Clapeyrón en el camino de hierro de París á Versalles.

Fundamentos —1.° Si se tiene una bóveda cilíndrica de una reducida profundidad formando como una zona muy estrecha que podemos suponer proyectada horizontalmente en el paralelógramo *a m n p* (Fig. 168, Lám. 21), y nos fijamos en el punto *o*, cruce de sus diagonales, trazando por la vertical que se levanta en dicho punto una serie de planos verticales como *o a*, *o b*, *o c*... etc... estos nos cortarán á la superficie cilíndrica en una serie de elipses que tendrán un eje común, cual es el vertical y de todos ellos, las experiencias de M. Lefort, así como el resultado obtenido por el cálculo ha dado por resultado que después del descimbramiento de la bóveda y admitida la homogeneidad de su construcción, la mayor deformación que ésta presentará, será según la curva situada sobre el plano vertical que se levante sobre la diagonal *a n*, notándose ya desde esta experiencia lo diverso de lo que acontece cuando la zona de que se trata sea de bastante extensión para poder contener en su totalidad la sección recta *q b*, pues entonces es bien sabido que es precisamente según la línea *q b* en donde se verifica la mayor contracción.

Partiendo de este dato vino como á consecuencia el inferir que tanto cuanto más la zona era estrecha, más la diagonal tendía á aproximarse con la línea de frente *m n*, confundiéndose por lo tanto en el límite siendo la zona infinitamente estrecha. Reduciendo, pues, la zona, el movimiento de contracción iba tendiendo y aproximándose en el sentido paralelo de los paramentos, lo cual valía tanto como decir que se transportaban los esfuerzos en el sentido del grueso de los muros de apoyo.

2.° Según experiencias de Mr. Clapeyrón, resultó que construyendo las anteriores zonas aisladas é independientes, las contracciones no eran de tanta entidad como antes cuando la gran masa compacta y unida favorecía con su mayor cantidad la desigualdad de las contracciones en las distintas partes de la obra, y esto tanto más cuando se trataba de mampostería y ladrillo.

3.° Examinando la deformación que experimenta una bóveda cilíndrica de medio punto en el momento que pierde el equilibrio hay lugar á la observación que la bóveda se abre por la parte superior (Fig. 169) en las juntas de la clave y contraclave hacia la parte del intrados en los puntos *a*, *a*, *a*, *a*, mientras que se abren los puntos *b*, *b*, *b*, *b*, hacia la parte de extrados y al tercio de altura desde el arranque, de manera que dicha clave y dovelas contiguas tienden á bajar deslizándose, saliéndose de su alojamiento, empujando al contrario y hacia arriba á los puntos en donde están las líneas de rotura, pues es precisamente en estos puntos de altura donde la bóveda sufrirá el quebrantamiento en el caso de

cado, como de ello es buen testimonio Mr. Graeff quien asegura que en varios puentes construídos con el sistema de zonas independientes ha resultado esportillarse las dovelas precisamente en las líneas de separación de las zonas, desarrollándose una gran desigualdad en el asiento y como á tal y consecuencia de él un sinnúmero de resaltos originados por las roturas y dislocación de juntas.

Este método de separación en zonas proviene (continua diciendo Mr. Adhemar) *de un error de Mr. Lefort al asegurar que el empuje en falso resulta de la misma forma de la bóveda y elasticidad de los materiales que la componen, mientras que es independiente del aparejo empleado. Añade luego en otro extremo: El empuje en falso es una resultante de fuerzas, es pues independiente del aparejo que se emplee pues en mecánica la fuerza elemental considerada en su punto de vista más general, queda reducida á la reacción entre dos moléculas materiales. Las superficies geométricas que envuelven los cuerpos cualesquiera que sea su dirección, no pueden dar ellas de por sí origen á las fuerzas y de aquí que no se haya de tener en cuenta el aparejo para venir á buscar la causa eficiente del empuje en falso de las bóvedas oblicuas.*

En vista de lo dicho, puédese admitir que de la forma de los cuerpos no se deriven los esfuerzos, pero en cambio, sí, podrá suceder, que según aquellas superficies estén dispuestas, puedan muy bien hacer desviar las fuerzas existentes en otras direcciones cuyo resultado muy lejos de ser nocivo pueda ser altamente provechoso; pues aun admitiendo también que la contracción provenga de la elasticidad de los materiales y que sea independiente del aparejo, siempre resultaría necesario demostrar que la separación en zonas independientes pueda cambiar el plano que contiene la resultante de las presiones.

La reacción mecánica que obra entre dos moléculas depende de su posición relativa y no siendo esta posición alterada por la división en zonas, no es dable comprender como esta operación pueda cambiar los efectos producidos por la compresión de los morteros.

La proposición de Mr. Lefort sería verdadera si dejáramos por sentado la homogeneidad de la bóveda así como también fuesen iguales en absoluto la compresión y

contracciones de piedras y morteros; cuales hechos no han venido aún á demostrarse.

Sea como se quiera la división en zonas no deja de ser en realidad más que uno de tantos sistemas de aparejo y entonces Mr. Lefort quedaría en contradicción consigo mismo al aseverar que el aparejo es indiferente al empuje en falso. Si el efecto producido por una fuerza no dependiera de la dirección de las superficies que reciben su impulso, entonces la acción de un proyectil sobre un muro perpendicular á la trayectoria sería la misma que sobre un muro inclinado con relación á esta línea, pudiendo yo en estas experiencias dar por seguro de no asistir con la seguridad debida á la segunda experiencia, dado caso que el ángulo de reflexión estuviera dirigido de manera á enviar hacia mi el proyectil; si pues fuese dable de hacer completa abstracción de la forma de los cuerpos expuestos á la acción de choque y presiones exteriores, entonces, ¿á qué preocuparse tanto en buscar y estudiar el gran número de disposiciones más ó menos acertadas de los materiales; tanto valdría entonces de amontonarlos al azar sin tener á la vista las leyes nacidas de la gravedad y frotamiento.

Tampoco puedo estar conforme con Mr. Lefort cuando expone el principio de que: "Una bóveda en esbiage, de un grueso infinitamente pequeño puede ser asimilada á una bóveda recta."

No puede ser cierta semejante especie, puesto que las generatrices aunque se consideren hasta degenerar en infinitamente cortas no dejaran nunca de formar ángulos agudos con las caras de cabeza, pues que este ángulo es por sí solo independiente de la longitud del cañón siendo por otra parte una cantidad constante.

Dice también "*Que en las superficies de junta formadas por las normales á la bóveda serán planas en uno de los dos ordenes de juntas mientras que en el otro serán superficies alabeadas, advirtiendo aquí en estas últimas que si bien serán regladas no admitirán las propiedades de las desarrollables. En cuanto á las primeras se padece un tercer error pues que las superficies normales que tienen por directriz las secciones de un cañón por planos paralelos á los paramentos, son todas idénticas, cualquiera que sea la posición de la sección, directriz, y*

estas superficies no cambiarán de naturaleza cuando esta directriz sea la arista de una zona infinitamente estrecha; por lo que no puede ser plana la junta de que se trata.

302. Por último no abundando la opinión de Mr. Adhemar, en la construcción de la bóveda en zonas aisladas y concretando el caso que se quisiera aparejar el puente oblicuo, admitiendo sin embargo zonas de reducido espesor paralelas á los paramentos, arrancando desde el tercio de la bóveda, aconseja la solución que representa la proyección horizontal de la (Fig. 169) en la cual se refiere exclusivamente al empleo de la cantería, y consiste en construir la bóveda desde el arranque al tercio, valiéndose de juntas continuas longitudinales y las discontinuas planos paralelos á los paramentos tal como se emplearon en el simple paso en esbiage mientras que desde la junta de ruptura hacia la parte superior, las juntas continuas son los planos paralelos á los paramentos y las discontinuas planos perpendiculares á las mismas caras de cabeza. Así la bóveda á partir de la junta de rotura viene constituyendo una serie de zonas ó anillos de grueso tan reducido como se quiera, más todos adyacentes y en contacto, unificando la masa total del sistema. De esto se infiere, que en las hiladas, en especial del arranque, se volvería á reproducir el defecto que se expuso en el paso en esbiage, cual era de que dado por admitida la mucha profundidad del paso, las diferencias de nivel entre los puntos extremos de las líneas longitudinales, serían extremadas, lo que produciría un desagradable conjunto, si bien es verdad cabría aquí la solución y de que más adelante hablaremos, de dividir la longitud total de la bóveda en tres partes. dos extremas ó de embocadura y la otra media y central; esta última aparejada según la disposición de un cañón recto y las otras dos por el medio expuesto por Mr. Adhemar.

SISTEMA DE ARCOS RECTOS, EN RESALTO PARALELOS Á LAS CARAS DE EMBOCADURA

303. **Fundamentos.**—Siendo el objetivo principal en la resolución del difícil problema de todo puente oblicuo, satisfacer á la vez las condiciones mecánicas y geométricas, venciendo con las primeras el empuje en falso y cumpliendo con

las segundas los requisitos de regularidad y solidez que producen los cruces ó encuentros de líneas y superficies en ángulo recto, proscribiendo en absoluto el agudo, se acudió en auxilio del cañón seguido recto, pues siendo sus líneas de mínima y máxima curvatura, las generatrices y las secciones rectos; la mayor contracción tiene lugar en la dirección de estas últimas trasmitiendo así el empuje en el mismo sentido del grueso del muro, teniendo lugar también en ángulos rectos los encuentros de líneas y superficies. Infiriéndose pues que el cilindro recto era el único que cumplía las condiciones que se deseaban; tratóse de hacer depender el paso esbiajado de una serie de arcos rectos en resalto, tomando por norma del escalonado de los distintos apoyos la dirección con que se presenta el ángulo del esbiage.

304 Partiendo de estas consideraciones, M. Hurel propuso (Fig. 171), la disposición de una serie de arcos rectos *A*, *B*, *C*... etc., unos en pos de otros, paralelos á los paramentos del paso, y colocados entre sí en resalto, avanzando ó retrasando en sus escalonados siguiendo con ellos la dirección del esbiage. Este sistema satisface completamente las exigencias de la cuestión pues evita por completo el empuje en falso, ofrece condiciones de solidez recomendables al mismo tiempo que la labra de la piedra es sumamente elemental. Su particular estructura en la cual las generatrices de todos los anillos cilíndricos son perpendiculares á los paramentos, hace que los esfuerzos sean llevados paralelos á la dirección de aquellos y de ahí tengan todo el debido apoyo y contrarresto, en el mismo grueso del muro. De ser de alguna consideración, para tenerse en cuenta, la profundidad de cada anillo, se aparejará éste siendo de cantería, por medio de planos normales al intrados que pasen por las generatrices y éstas serán las juntas continuas; mientras que las discontinuas serán las secciones rectas, conforme se vió al tratar del cañón seguido recto núm. 268.

305. En realidad esta solución era ya empleada en tiempos muy lejanos, pues se han encontrado ejemplos que lo atestiguan; uno de tantos el puente de Amiens que databa de algunos siglos y que se procedió á su demolición en el año de 1845.

Si bien con relación á la solidez viene á ser este sistema

el *desideratum* de la solución, tiene y se le achacan en cambio los siguientes defectos:

1.° Le falta esta elegancia y esbeltez que dan los cuerpos cuando sus formas son regulares y continuas, su aspecto es sumamente pesado, fatigando la vista esta multiplicidad de ángulos entrantes y salientes difíciles de abarcar en un solo momento.

2.° Ofrece una gran cantidad de paramento visto y de aquí su excesivo aumento en la mano de obra.

3.° Dado caso que se trate de un puente establecido sobre un río ó corriente navegable sujeta á fuertes crecidas, las aristas vivas corren riesgo de desmoronarse con el continuo choque ya de los filetes fluidos ó ya también de pesos flotantes, impetuosidad de las corrientes, grandes remolinos y aún también tratándose de puentes establecidos en un camino, los resaltos que forman las entradas y salientes dificultan algún tanto el tránsito, á menos que no se aumente el ancho ó luz entonces se complica el gasto ya de por sí crecido en esta clase de trabajos.

306. Sin embargo de haber aparecido posteriormente á esta disposición nuevas soluciones y que han producido excelentes resultados, parece que vuelve á privar hoy el sistema de arcos rectos en resalto como de ello es buena prueba el de la figura *B* que representa el puente de Lisano sobre el Reno, así como también el de que es objeto la figura *C*; el primero con arcos circulares escarzanos y el segundo teniendo por bases arcos de medio punto.

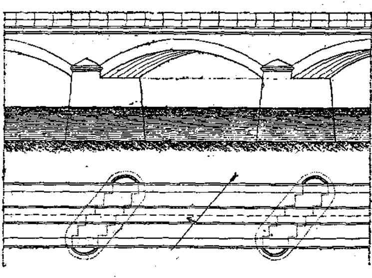


Fig. B.

Boucher, en el año de 1848 empleó este sistema aunque modificándolo algún tanto en un puente oblicuo de Chartres, con motivo del establecimiento del ferrocarril y en un trecho en que había de salvarse un vado (Fig. 172, Lám. 21). Aquí en este caso los arcos rectos *A, B, C*... etc., están separados por intervalos *x, x′, x″*... etc.; ocupados luego por trechos de

bóveda más retrasada y de menor espesor, ó por mejor decir por medio de un arco que además de limitar el hueco aprisiona fuertemente los primeros arcos que se van sucediendo, tal como indica el detalle de la figura *D* en la cual se representan los arcos que enlazan á los que son objeto principal del puente y al efecto penetran en ellos por medio de resaltos de unos 7 cm., unificándolos así al comunicar gran estabilidad á la masa total. Es pues un sistema sencillísimo á la par que ingenioso para resolver el difícil problema, ya considerada bajo el punto de vista mecánico ó ya geométrico, toda vez que el empuje en falso queda anulado y los ángulos agudos desterrados.

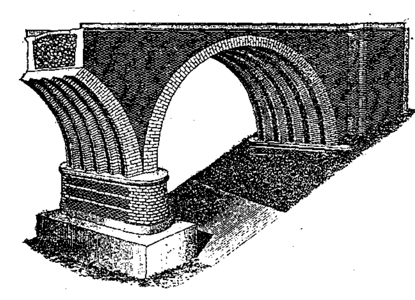


Fig. C.

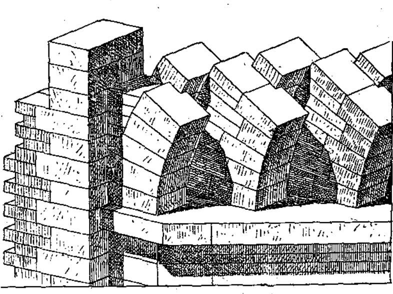


Fig. D.

307. En el caso de no emplear el muro interior como á base de los arcos y éstos vengan á apoyarse directamente sobre sus jambas cuales arranquen desde luego del plan terreno y acusando de una manera más acentuada los resaltos en el interior del pasaje, entonces se suelen rellenar los huecos hasta los arranques de los arcos, quedando así embebidos la mayor parte de cada uno de los pilares (Fig. 173, Lám. 21) en el macizo supletorio.

APAREJO ORTOGONAL PARALELO

308. **Fundamentos.**—Hasta aquí los aparejos que han precedido no han tenido otro fin que emplear recursos que aunque ingeniosos, venían en definitiva á eludir la cuestión, cambiando hasta cierto punto la faz del problema, como si se te-

miera de entrar en lo dificultoso de la directa resolución. Era preciso pues que llegara tiempo para que los adelantos científicos impusieran su veto á tan importante tema, haciendo que se fuera de frente y de un modo franco y directo, sin embajes ni rodeos, á herir en su propio corazón la *hidra de las cien cabezas*.

Así fué, como hombres de valía se dedicaran con ahinco al estudio, produciendo ópimos frutos el resultado de sus distintos y excelentes trabajos.

El primero que ha de llamar nuestra atención es el que resuelve con una solución exacta el problema ya mecánica ó geométricamente considerado, y aunque dicha solución si bien es la perfecta que sea dable teóricamente considerada, es por otra parte dificultosa para llevarla en el terreno de la práctica; sin embargo, ella ha dado pie para que convenientemente modificada sea asequible para adoptarla en los casos que las teorías vienen á ser el espíritu y esencia de hechos tangibles y materiales.

309. Veamos la (Fig. 174, Lám. 22) que representa un cilindro, cubriendo la planta *A B C D* de forma paralelográmica. La base *A E B* es circular y su plano oblícuo con relación al eje *F F'* puesto que partimos del supuesto que la bóveda es en esbiage. Se trata ahora de encontrar una superficie de junta continua, de modo que cumpla con el doble requisito de *ser constantemente normal al intrados y á las caras de paramento*. (Con planos es imposible satisfacer estas dos condiciones, *sine qua non*). Efectivamente: para que un plano sea normal al cilindro del intrados en todos los puntos de su intersección con éste, se hace forzoso que contenga las normales al cilindro por todos los puntos de la intersección; infiriéndose de aquí que ésta tiene de ser necesariamente una de las líneas de curvatura del cilindro, esto es, su sección recta ó su generatriz, y que el plano ha de ser uno de los dos planos normales principales de la expresada superficie. El plano de la sección recta del cilindro que es uno de estos planos normales principales, forma con el de paramento el ángulo de esbiage, y claro es que, mientras este ángulo no sea nulo, el segundo plano normal principal, que es perpendicular al primero no puede serlo á los de paramento sin dejar de contener aquella generatriz.

Para que la superficie de junta cumpla con estas condicio-

nes, es necesario que las cumplan también los planos tangentes á la misma en todos los puntos en donde aquella corte al intrados. Examinemos pues estos planos especiales: Todos han de ser perpendiculares á las caras de paramento, ó dicho de otro modo, han de ser constantemente paralelos á una recta fija perpendicular á los planos de paramento. Con esta sola consideración se infiere que la superficie de lecho ó de junta, será un cilindro perpendicular al paramento, por estar producido por una serie de intersecciones de planos paralelos á una misma recta, que de hecho es ya perpendicular á los paramentos, y con esto tenemos satisfecha la exigencia puramente mecánica.

En segundo lugar este cilindro de junta cortará al de intrados según una cierta curva *M a N*, línea de junta, incógnita que se ha de determinar, en cuanto satisfaga á la segunda condición, de que aquel lecho ó junta de la cual ha de ser ella directriz sea normal constantemente al intrados. Sea para esto *a* un punto cualquiera de este lecho; tracemos una generatriz *a g* del mismo; ó lo que es igual una perpendicular á los planos de paramento, y sea *a* el punto en donde esta recta *g a* corta al intrados de la bóveda. Por dicho punto *a* tracemos ahora; 1.° la *a t* tangente á la sección intermedia *d a b* paralela á las caras de paramento; 2.° la *a n* normal á la bóveda y 3.° la *a q* tangente á la curva incógnita *M a N*. Ahora bien, el plano tangente del lecho en *g* es el mismo que en *a*, y debe contener las tres rectas *a g*, *a q*, *a n*; la primera por ser generatriz del cilindro y que pasa por el punto de contacto, la segunda por ser una tangente de la superficie en el punto escogido y la 3.ª porque el plano tangente ha de ser normal al intrados del cañón.

Pero la recta *a t* corta evidentemente en ángulo recto á las *a g*, *a n*, luego se deduce que será perpendicular al plano de estas dos rectas; esto es, al plano tangente al lecho y por lo mismo también lo será la recta *a q*, contenida en el y que pasa por el pie *a* de la perpendicular *a t*. Como iguales resultados han de pasar en todos los puntos de la línea de junta *M a N* podremos concluir ya afirmando que la línea de hilada *M a N* ha de ser tal que corte en ángulo recto á todas las secciones como *d a b* paralelas á los paramentos, en una palabra, que dicha línea sea una trayectoria ortogonal de las secciones paralelas á los planos de embocadura.

Resulta pues. *Que la solución teórica del problema del*

puente oblícuo es un aparejo cuyas juntas continuas ó lechos son cilindros perpendiculares á las caras de paramento á la vez que corten al intrados según líneas trayectorias ortogonales de las secciones paralelas á las caras de paramento. Y esta propiedad ortogonal es tanto más notoria y excelente en cuanto persiste en la proyección sobre los planos de paramento (*), así como también en el desarrollo del cilindro (**); puesto que allí las tangentes de las transformadas de las trayectorias ortogonales son normales á las tangentes de las transformadas de las secciones paralelas á los paramentos; propiedad importantísima que nos permitirá facilitar en este sistema y de un modo especial las operaciones.

Resolución. Procedamos ante todo al trazado de estas líneas de junta continuas llamadas trayectorias. Dos medios pueden á este efecto emplearse. El geométrico y el analítico esto es valiéndose en este último de las ecuaciones de tan importante curva.

310. Medio geométrico.—En el trazado de la trayectoria ortogonal. Demos por sentado (Fig. 175, Lam. 22) que los arcos $A\ B\ C$, $D\ E\ F$, son las proyecciones de los arcos de cabeza sobre un plano vertical paralelo á ellas. El paralelógramo $A'\ D\ J\ C'$ es la planta del puente oblícuo. Conduzcamos varias secciones paralelas á los paramentos bastante próximas entre sí, tales como G, H, I, J..... etc., cuales proyectaránse verticalmente según semicircunferencias todas iguales.

Considerando ahora un punto tal como a, en el arco primero ó de embocadura, será evidente que el primer elemento de trayectoria, para que corte normalmente á dicho arco en el punto escogido será necesario que prolongado pase por el centro o de la circunferencia $A\ B\ C$, y así haciendo conservaremos de esta línea el trecho $a\ a'$ comprendido entre los dos primeros arcos. Pero en el punto a', el elemento será normal á la curva circular G, luego este segundo elemento será prolongación del radio $o'\ A'$, conservando del mismo modo la parte $a'\ a''$ comprendida entre la segunda sección G y la tercera H, por la misma razón el tercer elemento será $a''\ a'''$ proyectado verticalmente y confundiéndose con la proyección del radio $a''\ o''$, y así los demás elementos, de modo que unidos darán la trayectoria inicial primera que corresponde al punto a. Decimos inicial primera puesto que si bien se considera se ha sufrido en ella un pequeño error que es necesario subsanar. En efecto: el primer elemento $a\ a'$ si bien es normal á la curva de paramento, no lo es para con respecto al segundo arco de sección G; para serlo, sería preciso que dicho elemento tendiera, nó hácia el centro O y sí hácia el O'. Del mismo modo el segundo elemento para que fuera normal á la tercera sección H habría de tender hácia O'' en lugar de dirigirse como lo hace hácia O'. De modo, que así razonando para los demás elementos vendremos á deducir que los puntos obtenidos en a', a'', a'''.... etc., lo están con un pequeño error, pues en realidad sitúan más bajos del nivel que les corresponde para satisfacer á la cuestión, toda vez que cada uno de estos elementos no basta que sea normal á una de las secciones en donde está comprendido es preciso lo sea también á la otra.

Si pues razonando del mismo modo se une el punto a con o', el a' con o'', el a'' con o''' encontraremos por oposición otra curva tal como $a\ \alpha'\ \alpha''\ \alpha'''$..... etc., y será la que se llama trayectoria inicial segunda, cuyos puntos están por los mismos motivos anteriores un poco más altos de nivel de lo que les corresponde para que la línea sea exactamente normal á todas las secciones paralelas, infiriéndose de aquí, que la línea que cumpliera con la condición exigida sería una curva intermedia entre las dos iniciales encontradas la cual partiendo del punto a iría cortando normalmente y en su punto medio los pequeños elementos de arco $a'\ \alpha$, $a''\ \alpha'$, $a'''\ \alpha''$..... etc., cuya curva definitiva no es otra cosa que el límite en donde se confundirían las líneas poligonales $a\ a'\ a''\ a'''$..... etcétera, $a\ \alpha\ \alpha'\ \alpha''\ \alpha'''$..... etc.

Esta línea $a\ x'\ x''\ x'''$ .. etc., podrá trazarse desde luego y con bastante aproximación, uniendo el punto a con ω punto medio entre los centros o, o', así obtendremos el primer elemento $a\ x$; únase luego x con ω' medio entre los centros O', O'',

---

(*) En la cara de cabeza porque las tangentes en los puntos de las secciones transversales ó líneas de junta discontinuas son paralelas á los planos de paramento y por lo tanto dos rectas que se cortan en ángulo recto en el espacio se proyectan también sobre un plano en ángulo recto cuando uno de los lados sea paralelo á este plano.

(**) En el desarrollo porque el ángulo que forman dos líneas cualesquiera sobre una superficie desarrollable queda inalterable en sus transformadas una vez desarrollada dicha superficie.

aprovechando de esta línea de unión el elemento $x\,x'$, hágase lo mismo luego trazando la línea que vaya de x' á ω'' y así tendremos el tercer elemento $x'\,x''$ y así sucesivamente hasta haber empleado los centros intermedios.

Se concibe que cuantos más centros se dispongan y por lo tanto sean más estrechas las zonas formadas por las secciones paralelas á las cabezas, tanto mayor será la exactitud del resultado en la trayectoria.

Proyectando ahora cada punto obtenido en el plano vertical, en la traza horizontal del plano que le corresponde tendremos que el punto a se proyectará en x^h, x en x_1, x' en x_2..... etc., de modo que $b^h\,x_h\,x_1\,x_2\,x_3$..... etc , será la proyección horizontal de la trayectoria.

311. Pero lo ventajoso y especial de estas curvas, es, aparte de los beneficios que produce su ortogonalidad; la identidad de todas ellas abstracción hecha en sus distintas posiciones; siendo con esto dable, trazarlas por medio de patrón una vez obtenida con la mayor exactitud una de ellas y esto lo mismo en proyección vertical que en la horizontal, bastará detenernos en una pequeña consideración para hacernos cargo de tan singular ventaja.

Si suponemos que la sección circular de embocadura $A\,B\,C$ se la imprime un movimiento de traslación en el sentido del eje del cilindro, de modo que los puntos A' y C' vayan resbalando por las generatrices de arranque para irse trasladando sucesivamente en la posición de los planos G, H, I.... etcétera, entonces sucederá que, cuando por ejemplo, se la considere confundida con la sección H, el punto a habrá descrito en el movimiento una línea horizontal $a\,z^V - x_h\,z^h$ colocándose en el punto (z^V, z^h). Si al mismo tiempo la segunda sección G pasa en el movimiento á ocupar la posición del plano I; el punto ($x\,x_1$) de la trayectoria irá á ocupar el lugar (z', z_1).

Si ahora nos hacemos cargo que en todos estos movimientos de traslación las curvas circulares ó secciones del cilindro, han permanecido siempre paralelas al plano de proyección vertical y que por lo tanto los ángulos que forman con los elementos de las trayectorias han de conservarse los mismos en las nuevas posiciones, no será difícil comprender como el elemento de trayectoria $a\,x$ será idéntico con el $z^V\,z'$, lo propio que al $a\,b^V$ también igual al trecho de la nueva posición $z^V\,b'$, de modo que repitiendo lo mismo para todos los elementos, vendríamos á inferir como la curva obtenida en $b'\,z^V\,z'\,z''$ es exactamente igual á la $b^V\,a\,x\,x'\,x''$ y que por lo tanto conocida esta última sería sumamente fácil obtener por medio de un patrón cortado según ella, tantas otras trayectorias como quisiéramos pasando por los puntos convenientemente escogidos en el arco de embocadura.

A este efecto todo quedaría reducido á cortar el patrón según la curva $b^V\,a\,x\,x'\,x''\,x'''$ y la línea de arranque $D\,C$, haciéndolo luego resbalar imprimiéndole un movimiento de traslación á lo largo de la línea $D\,C$; la curva así irá tomando distintas posiciones determinándonos en cada una de ellas las distintas trayectorias, á medida que vaya pasando por los puntos tales como B, establecidos en la sección circular de embocadura.

312. Se ha de tener en cuenta, por lo relativo á la parte opuesta de la bóveda que si bien las trayectorias son del mismo modo idénticas á los que acabamos de trazar, se encuentran sin embargo colocadas en situación opuesta, porque igual y contraria es también la curvatura del cilindro en sus dos mitades, así (Fig. 176, Lám. 22) para el punto a, le correspondería su opuesto a'', para el b su opuesto b'' y para el f su opuesto f'' resultando así, ser la curva $g\,g''\,a''\,b''\,f''$ la nueva trayectoria, la cual puede trazarse lo mismo que todas las de la parte izquierda, empleando el mismo patrón anterior, con tal de volverlo en sentido opuesto resbalándolo siempre á lo largo de la línea de arranque que aquí es $L\,T$, veremos más adelante estas líneas, tienen la propiedad de tener por asíntotas dicha línea de arranque $L\,T$.

En el plano horizontal los resultados serán análogos, en los movimientos que hemos considerado, así cuando la sección circular $A\,B$, pase en $E\,E'$, el punto a' pasará en a'', la sección tal como $D\,D'$ vendrá á ocupar la correspondiente á $G\,G'$, y el punto b' irá á β resultando con esto que el elemento $a'\,b'$ se habrá confundido con $a''\,\beta$. Así es que, cortando otro patrón según el contorno $a'\,\beta\,f'\,N\,B\,a'$ y haciéndole resbalar á lo largo de la generatriz de arranque $B\,N$; en sus distintas posiciones nos irá indicando las diversas trayectorias que pasen por los puntos anteriormente escogidos en la cara de cabeza y proyectados en $A\,B$.

Por iguales motivos que los antes expresados, este patrón

podrá servir para trazar las curvas de la izquierda; con solo volverlo al revés y lo de arriba abajo de modo que el vértice *B* coincida con *M* y el *N* con el *A*; en esta disposición y haciendo resbalar esta figura que forma esta especie de plantilla, á lo largo de la línea de arranque *A M* nos irá describiendo todas las curvas ortogonales de la parte opuesta.

313. Con arreglo á las propiedades de este trazado, fácilmente se podrá prever que en los puntos tal como *s*, donde las trayectorias cortan á la generatriz culminante aparecerá una inflexión por el cambio de concavidad de derecha á izquierda que se verifica en el cilindro cuya circunstancia ha de reflejarse también sobre la línea que las corta en ángulo recto.

También puede colegirse que en el plano vertical, la proyección *s'* del punto *s*, ofrecerá un retroceso en atención de que en estos puntos es en donde pasarán dos patrones iguales y opuestos, uno á derecha y otro á izquierda, conforme hemos expresado anteriormente.

Si se quiere más exactitud en el trazado de estas trayectorias, entonces es cuando nos podremos valer de sus ecuaciones, las cuales se desarrollan al efecto más adelante.

314. Por ahora bástanos este procedimiento para llevar á cabo la resolución del problema bajo el punto de vista teórico. Fijándonos, pues, en la (Fig. 176) y considerando la hilada comprendida entre las dos trayectorias (*a b f*, *a' b' f'*), (*d c e*, *d' c' e'*), tendremos que, según lo dicho, (309) las superficies de junta continuas, ó sean los lechos, serán los cilindros perpendiculares á las caras de paramento y cuyas bases ó secciones rectas serán las proyecciones verticales *a b f*, *d c e*, de estas trayectorias, empleando para juntas alternadas los planos *C C'*, *E E'*, *F F'*... etc , paralelos á los paramentos. Así, si nos fijamos en una de las dovelas, teniendo en cuenta semejante disposición de juntas; aquélla la podremos considerar comprendida entre las líneas que cierran la figura proyectada, por ejemplo, en *c b g j y c*. Analicémosla teniendo, empero, en cuenta que el cilindro de extrados comprendido entre los dos muros de testa, es de base circular cuyo centro (y por lo tanto su eje) se encuentra en (ω, ω') esto es más bajo del arranque de una cantidad *k* ω', y todo esto al

objeto de fortalecer más los arranques, insiguiendo lo practicado en ejemplos anteriores.

Partiendo de este supuesto, y proyectado verticalmente en *l* el punto *l'*, con el radio ω' *l* podremos trazar la línea circular *l h i* γ φ que representará la base del cilindro exterior, y por lo tanto todas las secciones paralelas á ella que se produzcan en este cilindro, sus centros respectivos se encontrarán en la horizontal conducida por el punto ω' de radio igual para todas ellas, situándose las proyecciones horizontales de los expresados centros en los encuentros respectivos del eje *I*, *I'*, con los planos *C C'*, *D D'*, *E E'*... etc.

315. Elementos para el estudio de una piedra, la que hemos escogido en α.—Se compone de dos partes, la primera formando cuerpo con el muro, la segunda es un ramal de la hilada de la bóveda. De todos modos las caras de que consta son las siguientes: Primero, tres caras verticales paralelas, la de paramento anterior *a g j y d* plantilla en verdadera magnitud. La posterior correspondiente al muro recto *h g j y i* plantilla en verdadera magnitud. La posterior de la piedra en el plano de despiezo *D D'* proyectada en verdadera magnitud en el cuadrilátero curvilíneo *b c p q*. Segundo, un plano vertical *g j* perpendicular á las dos de proyección formando una plantilla rectangular cuyos lados son *g j* el uno y el otro el grueso del muro. Tercero, un plano horizontal *j y* conteniendo un rectángulo proyectado horizontalmente en verdadera magnitud. Cuarto, las superficies cilíndricas de intrados y de extrados, la una proyectada verticalmente en *a b c d* y la otra *p q h i* cuyos desarrollos son fáciles de encontrar. Quinto, y, finalmente, las dos juntas cilíndricas proyectadas cada una de ellas en las curvas *g b*, *c y*, las cuales precisa desarrollar. Una de ellas, por ejemplo, la segunda.

316. Como la sección recta del cilindro es la misma proyección *c y* situada en el paramento anterior *A B*, la rectificaremos sobre la recta *c v p d n i y* (Fig. 176'), y en cada una de sus divisiones correspondientes vendrán á desarrollarse las generatrices que en este caso vienen á tomar el carácter de ordenadas sobre las cuales tomaremos las distintas profundidades ó alturas *c c'*, *v v'*, *p p' n n'*, *i i'*, *y y'*, iguales respectivamente á las distancias horizontales que median desde los puntos vértices ó intermedios del cilindro en la (Fig. 176) al plano *A B*

de la sección recta; los puntos así encontrados en la (Fig. 176') unidos conforme se indica, constituirán el desarrollo de la junta cilíndrica. Esta junta está proyectada horizontalmente en la (Fig. 176) en *d' y' y'' i n' p' c' d'*. El medio de obtener un punto intermedio *n* entre los puntos extremos de las curvas de extrados *i n p* (por la cual el cilindro de extrados viene á ser cortado por el cilindro de la junta) queda reducido á emplear un plano secante auxiliar tal como *X X'*, el cual cortará al cilindro de extrados según un arco circular *n r*, y éste á su vez cortará al cilindro de junta en el punto *n* que proyectaremos horizontalmente en *n'*. Igual operación se repetirá para los demás puntos.

317. Labra.—El sistema de labra de la piedra escogida *α* se impone ya desde luego por venir las juntas cilíndricas proyectadas todas ellas verticalmente según sus secciones rectas, quedando por lo tanto concretada la proyección del sólido en la figura *b g j y d c*, de modo que todas las superficies que la componen son perpendiculares ó paralelas al plano vertical, y con esto queda dicho ser el sistema de escuadria el más á propósito para obtener dicha piedra.

Escójase, según esto, un prisma preparándolo convenientemente de modo que sus bases sean la máxima proyección vertical y su altura la separación de los planos *A B*, *D D'*. Este prisma está indicado en la (Fig. 176'') por las letras *c b a g j j' j'' y' y'' c' b' b*. Desde luego en la parte anterior se puede colocar la plantilla de paramento en *α*, en la parte posterior la plantilla plana *c' b' q p* que está situada en la figura de proyección en el plano *D D'*. Ya desde luego se puede colocar en la junta cilíndrica *y c c' y''* el desarrollo encontrado en la (Fig 176') haciendo que sus lados correspondientes coincidan una vez encogido el desarrollo para que adquiera la curvatura cilíndrica adaptándose en el perímetro *y d c' p i y'*; igual operación se hará con la junta inferior que vendrá situada en *b' a g g' h q b'*. Trazado el contorno de líneas ó cuadrilátero *a d c' d'* puede procederse al desvaste de la parte de piedra que oculta la superficie cilíndrica de intrados, valiéndonos para el trazado de esta última de una serie de puntos de marca *1 1'*, *2-2'*, *3-3'*... etc , cuyos pueden determinarse valiéndonos de generatrices proyectadas horizontal y verticalmente, observando los puntos en que dichas proyecciones cortan á las curvas que encuentran á su paso. Es-

tas curvas que forman parte de las distintas plantillas ó desarrollos, llevan en éstos los puntos indicados al trasladar estas plantillas y al colocarlas en la (Fig. 176''); así es que uniéndolos dos á dos los puntos antedichos, obtendremos una serie de generatrices cuyo lugar geométrico será la superficie de intrados.

Colóquense enseguida los rectángulos, uno el horizontal *y y' j' j* situado en el asiento superior de la piedra y el otro en el plano vertical *g J J' g'*. Faltará ahora solamente labrar el plano vertical que pasa por *j' g' h i y'* continuando la labra de este plano hasta tanto pueda colocarse esta plantilla ó figura pentagonal que demuestra la parte posterior del muro; obtenida así la curva *i h* por medio de la que se efectúa el corte del cilindro de extrados con el plano posterior del muro, resta solamente el labrado del cilindro exterior limitado por las líneas *p q*, *h i*, el cual podrá efectuarse por medio de generatrices que se apoyan sobre las dos curvas *p q*, *h i*, repitiendo la misma operación que hemos hecho para el intrados.

318. Aparejo ortogonal rectificado.—Conocida la solución teórica exacta, podemos ya pasar al estudio de la que realmente se emplea en la práctica, mediante algunas modificaciones que se hacen sufrir á aquélla en virtud de la gran dificultad de labra y más aún en poder colocar en su verdadera situación, los lechos cilíndricos que acabamos de ver.

El aparejo práctico se diferencia del teórico, en la superficie de los lechos, pues en lugar de ser cilindros perpendiculares á las caras de paramento, son superficies alabeadas formadas por las normales al intrados de la bóveda á lo largo de todos los puntos de las trayectorias, las cuales se conservan como antes.

Esta junta alabeada si se la considera en comparación con el lecho ó parte cilíndrica de que antes nos hemos servido, se podrá fácilmente deducir que las dos se acuerdan perfectamente en todo lo largo de la trayectoria directriz de ambas. En efecto en un punto cualquiera de esta línea se tiene, que el plano tangente á cada una de ellos contiene la tangente á la línea de hilada y la normal al intrados; luego los dos planos vienen á confundirse en uno solo y el acuerdo tiene lugar; por lo que concluimos que en este cambio que hacemos con las superficies, continua siendo perpendicular á

los arcos de paramento la nueva junta escogida *mientras se la considere en los mismos puntos de la trayectoria.*

Si se escoge un punto cualquiera de la junta alabeada pero que no esté en la misma trayectoria ó en el intrados, el plano tangente permanecerá normal al intrados, más no será perpendicular á las caras de los paramentos, pues es bien sabido que el plano tangente varía para cada punto escogido de la generatriz de una superficie de esta clase; sin embargo y á pesar de esta propiedad; esta variación es muy poco considerada dentro los límites que representan el grueso de bóveda, comprendido entre el intrados y el extrados. Considerando pues este aparejo, admitiendo esta modificación en las superficies de lecho, es en un todo admisible en cuanto persisten las condiciones de estabilidad.

319. Sea (Fig. 178, Lám. 23) $a\ b$, $c\ d$, las trazas horizontales paralelas entre sí, de los dos paramentos $a\ c$; $b\ d$ las generatrices de arranque del intrados, cual suponemos un cilindro de revolución que tiene por sección recta la circunferencia $a\ g'_1\ b_1$ supuesta rebatida.

Escojamos un plano vertical $L\ T$ paralelo á los paramentos, en el cual se proyectarán en verdadera magnitud, las dos curvas de cabeza que aquí serán las dos elipses $a'\ g'\ b'$, $c'\ h'\ d'$ ambas iguales, teniendo por eje mayor una magnitud $a\ b$, ó bien $c\ d$ y por eje menor el radio del cilindro.

Procédase luego al desarrollo del cilindro, trasladando para mayor claridad de las operaciones y un poco separada del cilindro la generatriz $b\ d$ que va á servir de charnela. A este efecto sobre $a\ b_1$ prolongada tómese la longitud $B_1\ A_1$ igual á la encontrada $\pi\ R$ de la sección recta $a\ g'_1\ b_1$; y levantando por los distintos puntos de división una serie de verticales, éstas representarán generatrices en el desarrollo entre las cuales se cuentan $B_1\ D$, $A\ C$, $O_1\ H$ que son las correspondientes á los arranques y á la de mayor altura, sobre las cuales se referirán los puntos correspondientes a, m, g, b y valiéndose de paralelas $a\ b_1$, en A, M, N, G, B. Finalmente se podrán trazar las transformadas $B\ G\ A$, $D\ H\ C$ de las dos curvas de cabeza, ya valiéndose de puntos intermedios construídos geométricamente ó ya por abcisas y ordenadas valiéndose de las fórmulas de los párrafos de que más adelante hablaremos. Divídase luego la base $B\ G\ A$ en un número impar de partes iguales, trazando enseguida rectas paralelas á $B\ D$ por los puntos de división obtenidos *1*, *2*, *3*, *4*... etc., cuyas paralelas cortarán á la sinusoide $D\ H\ C$ en el mismo número impar de partes iguales en *1'*, *2'*, *3'*, *4'*... etc.

320. En este estado valiéndonos de procedimientos geométricos número 310 ó bien echando mano de las fórmulas que luego se verán, se procederá al trazado detenido de la trayectoria que pasa por el punto G, deduciendo de ella un patrón bastante extenso, empleándolo enseguida de modo á comunicarle un movimiento de traslación paralelamente asi mismo, en la dirección $B\ D$ hasta que en sus distintas posiciones vaya pasando por los puntos *1*, *2*, *3*, *4*... etc., de la sinusoide $B\ G\ A$, señalando en el momento en que esto se verifique cada una de las trayectorias que el trozo del perímetro del patrón indique.

Al efectuar esta operación ocurre siempre una contrariedad, por cierto bastante notoria, y es que las trayectorias trazadas ya por los puntos de división de una sinusoide no pasan por los puntos de división de la otra, y en este caso se toma el partido de aparejar las cabezas independientes una de otra, cada una con sus trayectorias propias, pero como que cada serie de trayectoria reune la propiedad de acentuar su divergencia á medida que son más vecinas del ángulo agudo B, se hace conveniente que hacia los arranques, cada dovela de cabeza próxima al ángulo agudo, corresponde á dos ó tres hiladas ó dovelas del ángulo obtuso; las juntas discontinuas están formadas por planos paralelos á los paramentos apareciendo en virtud de la necesidad imperiosa de aparejar independientemente las cabezas una serie de redientes que afectan á las piedras intermedias comprendidas entre cada dos dovelas respectivas del citado paramento. Esto también constituye hasta cierto punto otra dificultad aunque de mayor monta que antes, y es el mal efecto que producen á la vista, estos resaltos, así como también el exceso de coste que reporta en su labra y complicación en la misma. Infiérese de aquí ser muchas las dificultades con que se encuentra el aparejador para poder resolver en todas sus partes las exigencias hijas naturales de lo complejo que es en sí el problema obligando á buscar constantemente recursos que subsanen ó cuando menos eludan semejante cúmulo de dificultades.

Así, en este caso, los redientes ó resaltos antedichos pueden evitarse sacrificando aunque muy levemente y en un cierto límite, el trazado de las trayectorias.

321. Si nos fijamos por ejemplo en la trayectoria que pasa por el punto *14'*, veremos que discrepa poco de la que parte del punto *11*, mediando entre las dos *14'* β' y *11*. α', muy pequeña separación y tanto, que casi sin error sensible pueden unirse una con otra valiéndonos de una trayectoria intermedia α β tangente á las dos trazadas; dicha α β puede trazarse con el auxilio del mismo patrón. Se concibe pues fácilmente, como podrán subsanarse todas estas dificultades en las demás trayectorias con el recurso de estas rectificaciones sin que salgan lesionadas las propiedades de las mismas, por lo que referirse puedan á la buena construcción de la bóveda, atención hecha al reducidísimo límite en que se lleva á cabo la modificación trazada.

El despiezo hecho en el desarrollo puede según lo dicho llevarse en una de las dos disposiciones que muestra la figura en la parte que concierne al mentado desarrollo, esto es, con dovelas dejando los resaltos que se expresan en la parte izquierda del despiezo y entonces las piedras son de mayor dimensión que las indicadas en el aparejo de la derecha, en donde las trayectorias se han modificado levemente para obtener una sola línea de junta longitudinal.

Obtenidos estos desarrollos, es cuando se trasladan con él todo lo allí dibujado, hasta colocarlo en el cilindro del espacio, buscando así las proyecciones horizontales y verticales de todas las dovelas, esto es, de todo el aparejo. Las operaciones que hagamos para la dovela cuyo intrados es *M N P Q* bastará para hacer comprender la marcha general para todas las demás líneas El punto *P* por ejemplo, se puede retornar á las proyecciones. Pasa por él la generatriz $P \pi_2$, ésta, corta á la sección recta en π_2, cuya distancia de π_2 al arranque *A* tomada por elementos y colocándolos unos á continuación de otros en la línea circular rebatida y verdadera magnitud de la sección recta, nos dará la distancia circular $a\ \pi_3$, y con ella el punto π_3 que demuestra la altura de la generatriz del cilindro, que pasa por el punto escogido Con esto conocemos ya enseguida la proyección horizontal de la referida generatriz, cual será la que pasa prolongada por $\pi_3\ \pi$, sobre la cual se irá á situar en *p* el punto *P* cuando se mueva este

punto describiendo el camino *p P* perpendicular á la charnela *D B* para arrollarse en la superficie cilíndrica y tomar la forma debida. De la proyección horizontal *p* se deduce fácilmente la proyección vertical *p'* con solo tomar una altura sobre la línea de tierra *L T* igual á la que indica la altura de π_3 sobre el arranque $a\ b_1$ de la sección recta Puede también comprobarse este punto de altura si nos fijamos que la generatriz de la proyección horizontal corta en π al arco de cabeza *a b*, y este punto refiriéndolo en π' sobre el referido arco, pasará por él la horizontal proyección vertical de la generatriz y ésta pasará forzosamente por *p'*. El punto *q q'* se encontrará del mismo modo y en cuanto á los puntos de embocadura *M N* se encontrarán aún más fácilmente pues en el giro describirán también los arcos de circunferencia proyectados horizontalmente, según las perpendiculares á *B D* indicadas en *M m*, *N n* yendo á pasar en definitiva por *m n* y de allí deducir por último las proyecciones verticales *n'*, *m'*. Así tendremos expresado todo el cuadrilátero curvilíneo (*n m p q*, *n' m' p' q'*). Adviértase ahora que según lo indicado en el número (311) puede facilitarse mucho este trazado si de antemano tenemos establecidas las dos trayectorias tipos, la una *g' j'* de la proyección vertical, y la otra *g j* de la proyección horizontal, formando patrones con el auxilio de estas curvas, haciendo mover el primero á lo largo de *a' b'* hasta que en sus distintas posiciones vaya pasando por los puntos de división del arco de paramento, y el segundo haciéndolo resbalar paralelamente asimismo á lo largo de *a c* pasando por las proyecciones horizontales de los referidos puntos, podremos así obtener las trayectorias sin necesidad de deducirlas por los puntos intermedios

322. Esto por lo que referirse puede á las líneas de junta continuas, puesto que con respecto á las discontinuas todo quedará reducido en la proyección vertical, á considerar la curva de cabeza *a' g' b'* como otro patrón que se mueva de modo que los arranques resbalen por todos los, puntos de la línea de tierra y considerándolo así, en una posición cualquiera, no habrá más que dibujar de trazos alternados esta curva; operación que es muy fácil de comprender en el momento que recordamos que las juntas alternadas son todas planas y paralelas á las curvas de cabeza y por lo tanto idénticas. Valiendonos de esta propiedad es que pueden tra-

zarse también con patrón las sinuosoides de las líneas alternadas en el desarrollo, y para ello, córtese el patrón que afecte la forma *B D H C*, colóquesele en esta disposición imprimiéndole en movimiento de descenso, resbalando la parte rectilínea por todos los puntos de la recta *D B*, entonces en sus distintas posiciones, se podrá dibujar la sinuosoide alternada, dándonos las distintas juntas discontinuas *Q P*, φ λ, etc.

323. Una vez obtenido el despiezo con las líneas de junta continuas y discontinuas resta ya engendrar las superficies normales al intrados á lo largo de las primeras y adoptar los planos paralelos á las cabezas para las segundas; así es que si quisiéramos detallar las proyecciones de una dovela completa como por ejemplo la *1-2*-λ-φ sería preciso encontrar las intersecciones de los lechos alabeados formados por las normales al intrados á lo largo de *2*-λ y de *1* φ con los planos de paramento y el paralelo posterior de la junta alternada, y además con las superficies de extrados.

324. Estas operaciones aunque muy fáciles son algún tanto enojosas por la que no insistiremos sobre ellas por dos razones capitales; la primera, por motivo de llevarlas á cabo y exponerlas detalladamente y de una manera análoga cuando estudiemos el sistema helizoidal; la segunda por que se comprendió bien pronto la necesidad de otra modificación, simplificando más el aparejo en obsequio á la economía y brevedad de las operaciones sin que por otra parte se resientan las excelentes propiedades del principio general.

325. Aparejo ortogonal paralelo. Ultimas simplificaciones.— La junta alabeada correspondiente á *Q M* nos cortaría al plano de paramento según una curva, que sería normal al arco de cabeza en el punto *m*; ya que en el punto *M* el lecho es normal al intrados y al paramento y por consiguiente á su intersección que es la elipse de cabeza; por otra parte esta misma curva casi se confunde con su tangente considerándola en el trecho restringido y que media entre el intrados y el extrados de la bóveda, esto es, en el grueso de la misma; de aquí es que, aprovechando esta notable propiedad se sustituye sin inconveniente la curva por la normal *m' s'* á la elipse de embocadura. Además sin inconveniente también se sustituye la junta alabeada por un plano, definido por la precitada normal *m' s'* y el punto (*q*, *q'*). Este plano difiere muy poco de la superficie curva de que se trata considerando ambas á dos estas superficies, en el límite aprovechable del grueso ó anillo de la bóveda.

De aquí resulta gran simplificación al cambiar las juntas alabeadas por juntas planas, tanto en la mano de obra, economía y coloración, el labrado resulta entonces el más elemental, como se desprende de las (Figs. 177 y 177', Lám. 22) de las cuales la primera expresa en detalle la piedra en proyecciones; en ésta se vé como el plano de junta superior habiéndosele sujetado á pasar por la normal *m' s'* y el punto *p'*, nos ha debido cortar al paramento posterior *R S* de la piedra, según la *p' r'*-*p r* paralela á la *m' s'*-*m s* siendo la junta en proyecciones el cuadrilátero mixtilíneo *m' p' r' s'*-*m p r s* teniendo en cuenta empero, que la curva *m' p'*-*m p* en rigor no será trayectoria; sino una porción de elipse que provendrá de la intersección de aquel plano con el intrados; pero de todos modos es un hecho que puede sustituirse sin el menor reparo, si se observa que en el corto trecho de la hilada, dichas dos líneas difieren de una cantidad insignificante.

326. La otra junta inferior *u' t' q' n'*-*u t q n* se determinará del propio modo. Falta solo encontrar la verdadera magnitud de estas dos juntas, por ejemplo la segunda. La obtendremos si se hace girar alrededor de la charnela horizontal *u' t'*-*u t* hasta rebatirla en el plano horizontal que pasa por *u' t'*; en este concepto, el punto *q' q* girará perpendicularmente é irá á colocarse hácia la dirección *q*, *q''* y á una distancia *t q''* de *t*, que será igual á *q' t'*, del mismo modo el punto *m* vendrá en *m''* y un punto intermedio tal como *z* en *z''* resultando la plantilla en verdadera magnitud la *u t q'' m''*, la plantilla superior se deducirá por idénticas operaciones.

327. Labra.—Un rectángulo circunscrito á la proyección vertical de la piedra servirá de base á un prisma auxiliar cuya profundidad ó altura sea la distancia de los planos paralelos de junta discontinua entre los cuales está comprendida la dovela (Fig. 177').

En la cara anterior se colocará la plantilla de cabeza *u' n' m' s' e* y en la posterior la *p' q' t' t r'*, ambas á dos de-

ducidas de la proyección vertical en donde se encuentran proyectadas ya, en verdadera magnitud; éstas colocadas, las rectas $m' s'$, $p' r'$ determinan el plano superior de junta. Si ahora unimos s' con r' resultará que podía desvastarse toda la parte anterior de la piedra hasta venir á la determinación del plano que pasa por las rectas $s' r'$, $s' m'$, $r' p'$ y allí limitarlo colocando convenientemente la plantilla $s' r' p' m'$ que habremos encontrado conforme se ha visto en la (Fig. 177). Con iguales operaciones vendremos á deducir la junta inferior $u' n' q' t'$ así como el plano vertical $e u' t' t$. Faltará solamente el labrado del cilindro interior, el cual se llevará á cabo situando una serie de generatrices del mismo; tal como muestra la figura, fijadas por medio de puntos de marca señalados en proyección horizontal y vertical (Fig. 177) de donde se refieren á las líneas de plantilla para ser trasladados con ella á la piedra definitiva.

Sistema Helizoidal

328. Fundamentos.—Apesar de las muchas y ventajosas simplificaciones introducidas en el sistema ortogonal paralelo, subsiste en él, un inconveniente bastante notable con respecto á la ejecución de la obra, el cual consiste en que todas las dovelas difieren entre sí, atención hecha á la distancia variable que existe entre la separación recíproca de las líneas de hilada. Es en virtud de este inconveniente que se ha empleado casi de un modo exclusivo la piedra labrada para la formación de las dovelas que constituyen el arco de embocadura, mientras que cada hilada intermedia (Fig. 178, Lám. 23), tal como $Q P Q_1 P_1$ se ha dividido en dos, compuestas no ya de piedra labrada sino de sillarejo, teniendo que variar sus respectivos gruesos conforme á las magnitudes intermedias entre $P Q$, $P_1 Q_1$. El otro inconveniente consiste en ser muy engorroso el trazado, á la par que difícil la colocación de las trayectorias sobre el cimbraje, exigiendo un cuidado sumo para que luego cuando venga la colocación de las dovelas siguiendo las líneas de junta trazadas en el mentado cimbraje, aquellas ocupen la verdadera situación que les corresponda.

Estas operaciones son prolijas pues se han de ir señalando las generatrices alternativamente en el desarrollo y en la cimbra del natural, é ir marcando sobre ellas, los puntos correspondientes de las trayectorias para luego venir á unirlos

determinando aquellas líneas de junta, y finalmente el señalamiento de las líneas trasversales.

Se hace también forzoso numerar las dovelas y sillarejos, así como numerar también con los mismos números y señales los sitios que cada una de las piezas ha de ocupar sobre las costillas de la cimbra; y téngase en cuenta para los efectos prácticos, que los lechos longitudinales de las piezas ó sillarejos se labran también planas atención hecha á la poca extensión de cada uno de ellos en el cual el plano de junta difiere muy poco de la alabeada normal.

Así pues mientras que en Francia gracias á los estudios y esfuerzos de Lefort, Clapeyrón, Laméd y otros se ponía en práctica el sistema ortogonal paralelo acompañado de todas sus simplificaciones, en Inglaterra se le modificaba radicalmente transformándolo en un aparejo completamente nuevo que se llamó aparejo helizoidal, que mereció ser acogido también en Francia con bastante éxito, logrando sustituir en muchos casos al mismo ortogonal paralelo. La innovación inglesa se imponía por sí misma, dado el modo de ser de las construcciones de aquel país; allí el material que priva es el ladrillo, esto es, piezas todas iguales, susceptibles de ser todas hijas de un mismo molde; de emplear el sistema ortogonal paralelo, existía imperiosa necesidad; admitida la construcción de ladrillo, de tener á mano ladrillos de infinitas formas y entonces para cada uno, corresponder debiera un molde especial.

No es difícil de prever lo engorroso y falto de economía que resultaría con semejante modo de obrar, dando con esto pie á que se estudiara este importante asunto á fin de que tal dificultad quedara zanjada por completo, sin que por otra parte sufrieran menoscabo las condiciones geométricas y de estabilidad impuestas al sistema ortogonal paralelo.

El estudio del nuevo aparejo, para ser empleado en Inglaterra, era pues preciso llevara en su esencia el sello de la igualdad en todas sus partes, sin apartarse por esto de las ventajas de disposición que aparecen en el sistema francés.

Todo quedaba reducido según esto, á encontrar líneas de tal naturaleza situadas sobre la superficie de un cilindro, de modo que fuesen todas idénticas, idéntica también su separación á todo lo largo de la hilada, idénticos los ángulos de cruce de las mismas con otra serie de líneas análogas que las cortarán en ángulo recto y finalmente que todas fuesen tales

que permitiesen servir de directrices á las superficies de junta continuas, también completamente iguales. Estas tan buscadas líneas se encontraron finalmente en las hélices y las superficies por aquellas dirigidas, los helizoides de plano director y de aquí que se bautizara este aparejo con el nombre de sistema *helizoidal* y también con el de *inglés* en virtud del suelo donde se implantó.

Veamos pues esta solución tal como se presentó en sus comienzos desarrollándose según lo exigido por la teoría, entrando luego en las simplificaciones respectivas, que en el terreno puramente práctico se van indicando á medida que las circunstancias lo hacían así reconocer.

329. Solución teórica.—(Fig. 181, Lám. 24). El pasaje es el proyectado horizontalmente en el paralelógramo $A\ B\ D\ C$, la sección recta del cilindro es circular proyectada en $A_1'\ B_1'$ y rebatida en $A_1'\ E\ B_1'$, por esto resultará que los arcos de embocadura situados en los planos verticales $A\ B$, $C\ D$ serán elipses las cuales tendremos representadas en verdadera magnitud proyectando todo el puente en un plano vertical de proyección $L\ T$ paralelo á los planos de cabeza. La obtención de estos arcos elípticos es bien fácil, pues todo punto que queramos obtener de los mismos, como por ejemplo las proyecciones verticales de los a, a^V ambos á dos situados en una misma generatriz del cilindro, las operaciones quedarán reducidas, á trazar por ellos rectas proyectantes perpendiculares á la línea de tierra $L\ T$ y tomar desde ella sobre las mismas, la altura de estos puntos con respecto al plano horizontal. Más esta altura la tenemos en la sección recta en $a''\ a_1$; pues que a'' es la proyección de toda la generatriz que contiene los puntos indicados, tómese pues dicha altura y colóquese desde $L\ T$ hácia a''' y hácia a^{IV} sobre las referidas proyectantes; cuyos puntos situados á un mismo nivel, el uno pertenecerá al paramento anterior y el otro á la elipse posterior. Esta operación repetida tantas cuantas veces se desee nos dará los dos arcos de cabeza. También hubiéramos podido obtenerlos sin necesidad de tener que pasar por los puntos intermedios valiéndonos de los ejes de las elipses pues si nos fijamos en la $C\ D$ el eje mayor es esta misma recta y el semieje menor, la vertical levantada en el centro u' igual al radio de la sección recta.

Como el despiezo en este aparejo se efectúa en el desarrollo, será necesario pasar á desarrollar la superficie cilíndrica, y eso lo haremos tomando como á charnela del movimiento la línea de arranque $B\ D$ trasladada para mayor claridad en $B_1\ D_1$. A este efecto sabemos que la curva circular $A'_1\ E\ B'_1$ se transformará según una recta $A_1\ A''_1$ cuya longitud resultará de colocar sobre esta dirección y unos á continuación de otros distintos elementos $A_1\ 1'$, $1'$-$2'$, $2'$-$3'$,... etc., iguales á los elementos curvilineos rectificados y de la misma denominación que figuran en la sección recta. Si más exactitud quisiéramos nos podríamos valer de la fórmula $\pi\ r$ la cual se sustituiría por r su valor numérico para así obtener la longitud de la sección recta. Levántense por los puntos de división perpendiculares á la misma y limitándolas á las distancias respectivas que existen desde los puntos extremos de los elementos escogidos en la sección recta á cada una de las caras de paramento, así llegaremos á obtener las dos curvas, anterior la una $B_1\ E_1\ A_1''$, posterior la otra $D_1\ u\ C_1$, ambas á dos de la clase de sinuosoides, en las cuales se transforman las elipses de cabeza.

Por lo tanto el desarrollo total del cilindro estará dispuesto en la figura $B_1\ D_1\ u\ C_1\ A_1''\ E_1$; trácense luego las cuerdas $B_1\ A_1''$, $D_1\ C_1$ y sustitúyase momentáneamente á cada una de las sinuosoides por sus cuerdas prescindiendo de la curvatura de aquellas. Divídanse cada una de estas cuerdas en un mismo número impar de partes iguales, igual al número de dovelas que queramos vengan acusadas en los arcos de paramento, si luego por el punto B_1 trazamos una perpendicular $B_1\ J$ á la recta $A_1''\ B_1$, esta perpendicular será tal que irá á cortar á la cuerda opuesta en un punto z que caerá dentro de una de las divisiones anteriormente hechas, aquí en nuestro caso cae entre los puntos 3 y 4; en general se toma en consideración, nó el punto más próximo de z, sino aquel que unido con B_1 nos diera un ángulo $3\ B_1\ D_1$ menor que el $z\ B_1\ D_1$, y adoptar esta línea como definitiva para la dirección de las líneas de junta. Más adelante insistiremos sobre este particular ampliando propiedades que se relacionan con la operación que ahora hemos llevado á cabo. El ángulo $D_1\ B_1\ z$ es lo que se llama *ángulo intradosal natural* y el $D_1\ B_1\ 3$ *ángulo intradosal rectificado*. Por cada uno de los puntos de división 1, 2, 3..., etc , trácense rectas paralelas á la $B_1\ 3$ y las rectas que así obtengamos serán las líneas de junta continuas, las cuales por sus especiales propiedades de

cortar á las generatrices del cilindro según ángulos constantes, al arrollarse sobre la superficie cilíndrica se convertirán en hélices, sirviendo para las líneas de junta continuas, empleándose para las discontinuas las líneas que en el desarrollo sean perpendiculares á las primeras y sucesivamente alternadas tal como muestran las rectas $l\ t$, $h\ i$, $j\ k$... etc., cuidando empero de disponerlas de tal modo, que así resulten una serie de rectángulos iguales (puesto que así todos los datos que son necesarios para el labrado de una piedra sirven para las demás, excepción hecha de las dovelas que corresponden á las embocaduras, cuales piedras por su situación especial, han de resultar forzosamente desiguales.

Concluido el despiezo en el desarrollo se procede luego á trasladar todas las líneas que lo componen, en el sitio que les corresponden en el espacio, arrollando otra vez el desarrollo sobre el cilindro, y buscando por lo tanto las proyecciones horizontales y verticales de todas las mencionadas líneas así continuas como alternadas, cuyas van á adquirir la disposición de hélices. Bastará hacer no más la operación para con respecto á una de estas líneas, pues es bien evidente que para las demás se repetirán las mismas construcciones; bastará para esto observar el movimiento de el punto que se considera en la evolución que haga, para trasladarse á su verdadero sitio y sea la línea de junta $a_2\ k\ \gamma'$, el punto a_2 que; está situado en la sinusoide de paramento girará al arrollarse otra vez el desarrollo en un plano $a_2\ a$, perpendicular á la charnela $D_1\ B_1$ y vendrá á situarse con toda evidencia sobre el plano de paramento en a, sobre $A\ B$ en proyección horizontal, y en cuanto á su proyección vertical estará en a''' y á una altura del plano $L\ T$ igual á la altura que tenga la generatriz que pasa por el punto a_2, más como esta generatriz se proyecta en un solo punto en a'' sobre la sección recta, claro está que la altura que buscamos está expresada en $a''\ a_1$, la que tomaremos desde la línea de tierra hasta a'''. Si consideramos ahora el punto γ', éste también girará y se colocará en γ'' que podremos encontrar facilmente, concibiendo que por este punto pasa una generatriz $\gamma'\ \gamma'''$ la cual trasladada sobre el cilindro vendrá á colocarse á la altura que nos indica el punto γ de la sección recta dándonos con esto la disposición en el plano horizontal de dicha generatriz en la que ha de ir á situarse el punto definitivo γ''. Si ahora por dicho punto se traza una perpendicular á la línea de tierra $L\ T$ y á partir

de esta última se toma en ella una distancia que nos indica la altura $\gamma\ \gamma^{V}$ se habrá obtenido en γ^{IV} la proyección vertical del punto γ del espacio. Puntos intermedios entre estos dos como por ejemplo k nos dará por igual procedimiento su debida proyección horizontal k', así como la proyección vertical k''', y la unión de todos los puntos así obtenidos nos dará la curva $a\ k'\ \gamma''$, $a'''\ k'''\ \gamma^{IV}$ que será el trozo de hélice de su referencia; del propio modo encontraríamos el trozo de hélice $b\ j''$ que corresponde á la $b_2\ j$ y la $k'\ j'$ que corresponde á la $k\ j$, así como las proyecciones verticales de estas líneas $b'''\ j^3$, $k'''\ j^3$; así como repitiendo estas operaciones llegaríamos á representar todas las líneas del despiezo tal como aparecen en las proyecciones vertical y horizontal.

330. Determinación de una piedra.—Se escoge por ejemplo la que en el desarrollo contiene la parte de superficie de intrados limitada en el cuadrilátero $a_2\ b_2\ j\ k$ colocada horizontalmente en $a\ b\ j'\ k'$ y en el plano de proyección vertical en $a'''\ b'''\ j^3\ k'''$. Toda esta parte de superficie de intrados será fácil ahora proyectarla en la sección recta confundiéndose con ella en la extensión que nos indican los puntos $a''\ b''\ j''\ k''$, pues dispuesta aquí nos será muy fácil ir limitando las juntas así como sus intersecciones respectivas entre sí y con el cilindro de extrados. Consideremos para esto la línea $a\ k'$ que vá á servir ahora de directriz de una recta que se conserve en todas sus posiciones normal á la superficie interior del cilindro; entonces claro está que cualquiera que sea la posición de la recta móvil, siempre vendrá á estar proyectada en el plano de la sección recta por una normal á esta curva, normal que aquí, en este nuestro caso, será un radio, porque hemos escogido el cilindro de revolución.

Partiendo pues de este hecho, será fácil el trazo de la normal en un punto cualquiera y su intersección con el cilindro exterior. El punto k', por ejemplo, se proyecta en k'' en la sección recta en donde la normal es $k''\ f''$, luego f'' es el punto de intersección de la citada recta con la referida superficie; más como en proyección horizontal, esa normal es evidente que tendrá la dirección $k'\ f$, en ella fácilmente podrá proyectarse enseguida el punto f'' en f. Esta operación repetida tomando en cuenta tantos puntos intermedios como se quiera de la curva $k'\ a$ nos darán por resultado también otra serie de puntos en la parte exterior que unidos nos darán la cur-

va $f\ c$ que vendrá á constituir la intersección de la junta alabeada con la superficie cilíndrica de extrados; pero al llegar la generatriz normal en el punto α, queda por resbalar sobre la línea el trecho $\alpha\ a$, y este es tal que todas las normales comprendidas en él, dejan de cortar al extrados, para cortar en su lugar al plano de paramento, dándonos así una curva proyectada en la sección recta en $a''\ c''$. Un punto cualquiera de esta curva se podrá encontrar como antes por medio, de la proyección de la normal que se considere; sobre el plano de la sección recta en donde habremos de referir el punto de intersección de la proyección horizontal de dicha normal con el plano vertical de paramento.

Iguales operaciones hechas á lo largo de las líneas de junta $b\ j'$, $k'\ j'$, continua la primera, discontinua la segunda, nos facilitarán estas superficies proyectadas horizontalmente en $b\ j'\ g\ d$, $k'\ j'\ g\ f$. De esta proyección horizontal se puede deducir la proyección vertical de la piedra auxiliándonos en esta operación el plano de la sección recta; así, los puntos de la superficie de intrados a, b, irán á trasladarse directamente en $a'''\ b'''$ sobre el arco de paramento y los k', j' vendrán situados en k''', j^3 situados estos últimos á una altura sobre $L\ T$ igual á la que tienen los k'', j'' de la sección recta sobre $L'\ T'$, de este modo los puntos así obtenidos así como sus intermedios que se encontrarán del mismo modo nos darán el cuadrilátero curvilíneo $a'''\ b'''\ j^3\ k'''$ proyección vertical de la superficie de intrados de nuestra piedra. Iguales construcciones nos darán la proyección del mismo nombre, que se refiere al extrados $c'''\ d'''\ g'''\ f'''$ que corresponden á los $c\ d\ g\ f$ de la proyección horizontal y la altura de los mismos la tenemos en la sección recta con las distancias de los puntos $f''\ c''\ g''\ d''$, sobre $L'\ T'$. Ahora es evidente que las normales de los puntos k''', g''' serán las rectas $k'''\ f'''$, $j^3\ g'''$, así como las curvas $a'''\ c'''$, $b'''\ d'''$ serán las proyecciones verticales respectivas de las intersecciones de las juntas con los paramentos, proyectadas á la vez en el plano horizontal en $a\ c$, $b\ d$ y en el plano de la sección recta en $a''\ c''$, $b''\ d''$, en cuyo último plano iremos á buscar siempre las alturas ya de puntos extremos ó intermedios con respecto á $L'\ T'$, para trasladarlos enseguida en las nuevas proyecciones referidas al plano vertical de línea de tierra $L\ T$, combinándolas como es natural con las proyecciones horizontales de las que partimos. Se infiere pues de estas operaciones que la piedra está completamente ultimada en

sus proyecciones siendo la horizontal la que nos marca el contorno aparente en $a\ k'\ j'\ g\ d$, y la vertical la $a'''\ c'''\ f'''\ g'''\ j^3\ b'''$.

331. Labra.—Varios son los procedimientos de labra, los unos tienden á que las operaciones sean lo más breves posibles que permite este especial ejemplo de bóveda algo complicado, los otros realizan con más ventaja la exactitud en las operaciones empleando empero medios más prolijos, algunos también se usan con el propósito de que descuelle en primer lugar la mayor economía en la labra y finalmente otros especiales y dependientes de la disposición que tenga la dovela en la propia bóveda, según situe en el arranque, en los riñones ó en la parte alta ó próxima á las claves. Expondremos los más principales.

Primero: *Método de la sección recta.*—Como el mismo nombre lo indica tiene por fundamento este sistema el obtener la piedra; de un prisma cuya base sea la proyección completa de la piedra sobre el plano de la sección recta, y cuya longitud de la misma, sea la separación de dos planos de sección recta pasando por los puntos más distantes n, p de la piedra en su proyección horizontal. Este sistema es fácil y sencillo y emplea tan solo el desarrollo $n\ m\ p\ q$ del intrados así como el correspondiente del extrados, adoleciendo de exceso de piedra y derroche de mano de obra pues que en definitiva ha de desaparecer una gran parte de material labrado una vez construído el prisma preparatorio para luego transformarlo en la piedra definitiva.

Para este labrado se ha escogido una piedra adjunta al arranque y formando parte intermedia de una hilada, al objeto de que sus proyecciones se distingan de la piedra anterior, la cual formaba parte del paramento. Con esta nueva elección de dovela ocurrirá que el sólido estará terminado lateralmente en su contorno, esto es, izquierda, derecha, parte anterior y posterior por cuatro superficies alabeadas normales á la bóveda, cortándose sucesivamente en los cuatro ángulos por cuatro rectas normales también á la superficie de intrados. Ya hemos indicado como el rectángulo $m\ n\ q\ p$, del desarrollo podía darnos la proyección horizontal $m'\ n'\ q'\ p'$ del intrados, por cuyos cuatro puntos podrán trazarse inmediatamente las rectas $m'\ x$, $n'\ u$, $q'\ y$, $p'\ z$ en dirección de la sección recta de la bóveda, estas rectas es evidente que se

presentarán normales al cilindro las cuales quedarán limitadas en los puntos x, u, y, z, al cortar la superficie de extrados; también hemos dicho que el procedimiento para encontrar estos puntos se limitaba á deducirlos de la sección recta en x', u', y', z', en virtud de haber proyectado los puntos del intrados en $m'' n'' p'' q''$ en la curva de la propia sección, puesto que allí las normales en ellos se proyectaban enseguida según radios y las intersecciones de éstos con la curva exterior nos los facilitaba inmediatamente. Fácil es inferir ahora, que trazando normales intermedias en las cuatro curvas del propio intrados $n' m'$, $n' q'$, $q' p'$, $p' m'$ y repitiendo las operaciones de intersección de dichas rectas con el extrados llegaremos á obtener otras cuatro curvas $m' x$, $m' p'$, $p' z$, $z x$ que nos limitarán la piedra por la parte exterior.

Por lo demás el labrado se efectuará del modo siguiente: Empiécese labrando un prisma (Fig. 181') cuyas bases $X M Q Z$, $X' M' Q' Z'$ sean iguales á la proyección de la piedra sobre el plano de la sección recta, tal como es el contorno expresado en $m'' x' y' q''$ (aunque se ha escogido en tamaño mayor la piedra en perspectiva al objeto de que salieran más claras las operaciones) y por profundidad y altura la $Q Q$ igual á la distancia de dos secciones rectas conducidas por los dos puntos más distantes vistos en proyección horizontal; esta altura sería pues en este plano la separación de las paralelas $p' z$, $n' v$.

En el intrados de esta piedra auxiliar alojaremos arrollándola hasta adquirir la curvatura de la superficie cilíndrica el rectángulo $m n p q$ del desarrollo el cual adquirirá la disposición $m_1 n_1 q_1 p_1$ en la (Fig. 181'); guiándonos para que esté colocada en su verdadera disposición en los puntos de marca preparados con anticipación tales como p_1 n_1 los cuales vendrán indicados en la misma plantilla del contorno de la proyección sobre la sección recta; si en iguales condiciones echamos mano del rectángulo que corresponde al extrados de la piedra y que estará dispuesto en el desarrollo del cilindro exterior; lo podremos arrollar superponiéndolo sobre el cilindro $X X' Z' Z$, viniendo en definitiva á colocarse en x_1 v_1 y_1 z_1, orientándonos para ello por medio de los puntos de marca z, v, los cuales situados en los arcos de extrados de las plantillas de base, serán trasladados á la piedra con éstas; las que se deducen de la sección recta en donde ya tienen indicados estos puntos de marca.

Tengamos ahora en cuenta que al trasladar estos desarrollos en las superficies cóncava y convexa de la piedra que se labra, se habrán trasladado con cada una de las curvas una serie de puntos de marca correspondientes á las intersecciones de las respectivas normales con las superficies interior y exterior del cilindro, así las dos curvas q_1 n_1, y_1 n', han ido acompañadas la primera con los puntos q_1, a, b, ... n_1 y la segunda con los puntos y, a', b', ... n'; así es que el desvaste de la piedra se efectuará de modo á poderse unir dos á dos los puntos q_1 con y_1, a con a', b con b' ..... n_1 con n', nos darán una serie de rectas que en su conjunto no serán más que el lugar geométrico de la superficie que constituye la junta alabeada. Analogamente las curvas m_1 p_1, x_1 z_1 servirán de directrices para la junta alabeada lateral y opuesta á la primera descrita; así como también las curvas p_1 q_1, z_1 y_1 servirán para el trazo de la junta alabeada de testa y finalmente las m_1 n_1, x_1 n' serán las directrices de la otra junta de testa; de modo que devastando toda la piedra excedente hasta obtener el labrado de estas cuatro juntas alabeadas, llegaremos á obtener la piedra aislada afectando la forma que demuestra la (Fig. 181'), en donde se demarcan las distintas posiciones de las generatrices que han servido para la labra de las cuatro superficies de junta.

En la Fig. 181'' se representa la forma de una de las dovelas en la cual se acentuan las curvaturas de las juntas, para que así pueda dar idea más exacta de la verdadera configuración de la piedra en el espacio.

332. Segundo: *Método del plano tangente.*—Consiste en proyectar la piedra en el plano tangente á la superficie de extrados de la misma á lo largo de la generatriz que esté más indicada para que las operaciones resulten las más concisas y exijan menor desvaste. Al objeto de hacer más inteligibles las operacianes, si bien escogeremos la piedra de embocadura que corresponde al desarrollo b_2 a_2 k j, cuyas proyecciones hemos detallado ya en la (Fig. 181), sin embargo estas últimas las ampliaremos presentándolas en escala mayor en la (Lám. 25, Fig. 182) y según esto tendremos que las dos circunferencias concéntricas $B D$, $A C$ representarán las secciones rectas de los cilindros de intrados y extrados, $X Z$ el plano de paramento, $a k j g d$ la proyección horizontal de la piedra, la figura $f' k' b' d'$ el contorno de la totalidad de la

piedra con respecto á la proyección sobre el plano de la sección recta.

El plano tangente á la superficie de extrados, y sobre el cual vamos á proyectar la piedra vendrá expresado en el plano de la sección recta por su traza $L' T'$ tangente en un punto tal como n' á la curva de extrados.

Proyectemos pues todos los puntos del sólido sobre dicho plano, y después de haberlo efectuado rebatamos este último para poder apreciar aquélla, más en obsequio de la claridad del dibujo traslademos el plano $L' T'$ paralelamente asimismo en $L'' T''$ y allí procederemos al rabatamiento. Si bien consideramos esta operación viene á ser simplemente un cambio de plano horizontal, pasando del de proyección primitivo al nuevo ó sea el tangente permaneciendo el mismo el plano vertical que aquí es el de la sección recta, en una palabra, un cambio de línea de tierra pasando de la $L_1 T_1$ ó $L T$ á la $L' T'$ ó lo que es lo mismo á su paralela $L'' T''$; en estas condiciones el punto a' se proyectará en a'' sobre la línea de tierra $L'' T''$ el punto k' irá á situarse en la recta $k' k''$ perpendicular á $L'' T''$ y á una altura de ésta $p k''$ igual á la separación $p' k$ que existe entre k y la $L T$; así es que un punto intermedio entre éstos tal como el que está expresado en φ en la proyección horizontal y en φ' en el plano de la sección recta vendrá á ocupar la posición φ'' en el nuevo plano siendo por lo tanto $a'' \varphi'' k''$ la proyección de la hélice correspondiente sobre el plano tangente de que se trata. Idénticas operaciones nos llevarán á obtener las tres curvas $b'' j''$, $a'' b''$, $k'' j''$ y con ellas el contorno de la superficie de intrados.

Claro está que si ahora consideramos el extrados de la piedra limitado por el cuadrilátero curvilíneo que está proyectado horizontalmente en $c\ d\ g\ f$ cada uno de sus puntos vértices así como los intermedios pueden cambiarse de plano del mismo modo que hemos hecho con los anteriores encontrándolos en el plano vertical $L'' T''$ formando también el cuadrilátero curvilíneo $c'' d'' g'' f''$. Restará no más unir k'' con f''; j'' con g'' y las rectas que así resulten serán las proyecciones verticales de las normales á la bóveda y que á la vez representarán las intersecciones de la junta alabeada posterior con las alabeadas laterales. Finalmente las líneas curvas $a'' c''$, $b'' d''$ representarán las intersecciones de las juntas alabeadas y continuas con las caras de paramento, de cuyas curvas cuando

menos es necesario encontrar un punto intermedio para cada una, construcción fácil teniendo en cuenta que cualquiera que éste sea tal como ϕ viene determinado en proyección horizontal por la intersección del plano vertical $X Z$ con la normal $\phi\ \phi'$ que corresponde al punto indicado, cuya normal y punto de la curva estarán expresadas también en la sección recta, y de allí deducir como antes por medio del cambio de plano consiguiente el punto definitivo (ψ, ψ'') y con él la curva $a'' \psi'' c''$.

Con estas referidas operaciones tendremos pues la proyección total de la piedra sobre el plano $L'' T''$ expresando allí lo visto y lo oculto de la misma; y en esta disposición es cuando se puede circunscribir á la misma el rectángulo mínimo tal como el que representa el $R\ M\ N\ S$.

Si ahora en la (Fig. 182') construímos un prisma $G' H' I' I K G$ cuyas bases sean el rectángulo antedicho, la altura $G' G$ igual al grueso de la piedra ó separación de los planos $K' J'$ y $L' T'$ y la longitud la que indique la separación de los planos verticales que se levantan en proyección horizontal en $j\ g$ y $L' T'$; que es la separación mayor de los puntos del contorno de la piedra, entonces tendremos seguridad de que en el interior de este prisma cabrá en sus dimensiones la dovela de que se trata, pues estas medidas del paralepípedo están reguladas con las de la piedra en cuestión.

Si suponemos ahora la piedra en el interior de este prisma y concebimos que las superficies cilíndricas que forman el intrados y el extrados se prolongan por una y otra parte hasta venir á cortar las caras de este prisma, entonces será como haciéndonos cargo de estas líneas de intersección auxiliares podremos tomarlas como á directrices para el labrado de dichas superficies puesto que tales líneas estarán ya á nuestro alcance, teniendo dos para cada cilindro, porque éste prolongado por una y otra parte ha de cortar precisamente también á dos caras del citado prisma.

Según esto será necesario encontrar las plantillas auxiliares que resulten de la intersección de los cilindros de intrados y de extrados con cada uno de los planos verticales que se levantan en $M N$, $N S$, $S R$, $R M$, para luego efectuar el rebatimiento de los mismos alrededor de su respectiva traza horizontal.

Supongamos, por ejemplo, que se trata del plano $M N$ que para mayor facilidad se transporta paralelamente asimismo

en $M' N'$ y allí es en donde efectuaremos directamente el rebatimiento. Tomemos por ejemplo en cuenta la generatiz del intrados que se proyecta en m_4 en la sección recta y en $n\ m$ sobre el nuevo plano de proyección, resultará que vendrá á cortar en m al plano $M N$, trasladándose con éste en m'' y suponiendo á la vez el rebatimiento del plano $M' N'$ éste vendrá á rebatirse según el rectángulo $M' N' M_1 N_1$ mientras que el punto m'' se trasportará en m''' á una distancia $m''\ m'''$ igual á la que exista del punto escogido á la charnela cual distancia en verdadera magnitud la tenemos ya de hecho en $m'_1\ m_4$.

Si luego por el punto k hacemos pasar otra generatriz del cilindro de intrados tal como $k\ k''$ ésta vendrá á cortar en q al plano $M N$, trasladándose en q' cuando $M N$ se traslade en $M' N'$, y en el rebatimiento dicho punto q' estará fijo pues que precisamente pasa por él una generatriz resultante del corte del cilindro con el plano $k'\ b'$, y es bien notorio que en este concepto no puede existir distancia del punto al eje porque aquella se ha anulado. Si tomamos en consideración ahora la generatriz que pasa por el punto N veremos por análogas razones que el punto de intersección de esta generatriz con el plano $M' N'$ estará situado en t''' en el rebatimiento á una distancia $N\ t'''$ igual á $t\ t''$. De modo que la unión de todos los puntos así obtenidos nos dará una curva $q'\ m'''\ t'''$ que será la intersección del cilindro del intrados con el plano $M' N'$.

Si pasamos luego á la intersección de este mismo plano con el cilindro exterior convexo, tendremos que una generatriz cualquiera tal como la que se proyecta en $(n'—n\ m)$, ésta corta en m al propio plano, y trasladándose en m'' y rebatido después en n'', á la distancia $m''\ n'' = m'_1\ n'$ nos darán el punto definitivo de la intersección; encontrando del propio modo el r''' á la distancia $M_1\ r''' = r'\ r''$ de la recta superior $M_1\ N_1$ así como el t'' á la distancia $N_1\ t'' = t\ t'$ de la propia recta; y con este y otros puntos intermedios la curva $r'''\ n''\ t''$ intersección rebatida, del plano $M N$ con el cilindro convexo del extrados. De modo que haciéndonos ahora cargo del total de la figura obtenida dentro del rectángulo $M' N' N_1 M_1$; cuya es la $q'\ m'''\ t'''\ t''\ n''\ r'''\ M'\ q'$ esta será una plantilla auxiliar que para abreviar llamaremos α y que provendrá de la intersección del plano $M N$ con los cilindros superior é inferior que terminan la dovela en este sentido.

Operaciones análogas hechas para con respecto á los

otros planos que limitan el paralepípedo en $S N$, $R S$, $R M$, nos irán dando las otras plantillas designadas por β, γ, δ.

Así dispuestas estas previas operaciones, hagamos uso de estas cuatro plantillas colocándolas con su orden en cada una de las cuatro caras del paralepípedo de la (Fig. 182') las cuales vendrán á situarse en la disposición designada por las letras γ, δ, etc. Bien se comprende ahora que si unimos q con q' y l con l' las rectas $q\ q'$, $l\ l'$ así obtenidas serán generatrices del cilindro del intrados, provenientes de la intersección de este con el plano base inferior del paralepípedo capaz, siendo las curvas $q\ s$, $s\ l'\ q'\ p$, $p\ l$, respectivamente directrices de la superficie cilíndrica que desde luego podemos labrar haciendo resbalar una regla por ellas, regla que estará fijada en cada una de sus posiciones por dos puntos de marca que habremos tenido buen cuidado en señalar en las mismas al efectuar las operaciones de la saca de plantillas α, β, γ δ.

Así desvástese la parte correspondiente del plano $G K I H$, hasta tanto podamos ir uniendo de un modo franco los puntos pareados *2* con *2*, *3* con *3*, *4* con *4*... etc. colocando la regla en la disposición que muestra la (Fig. 182''). Empleemos del mismo modo las curvas del extrados y lograremos con ello la labra del cilindro convexo; faltando ahora limitar estas dos superficies cilíndricas en su justa terminación realmente aprovechable. Para ello echaremos mano de sus desarrollos colocándolos en la verdadera situación que les corresponde en cada una de aquellas superficies.

La del *intrados* vendrá á tomar la colocación $a\ b\ j\ k$, los puntos a, j situados sobre las curvas cóncavas de las plantillas δ, α y tal como nos indicarán las intersecciones de las generatrices que pasarán por dichos puntos al cortar los planos $R S$, $M N$ del paralepípedo en la (Fig. 182); los puntos k, b sobre las rectas $q\ q'$, $l\ l'$ y á las distancias de los planos de δ, α iguales á las que deducirse pueden en el plano de proyección horizontal.

La de *extrados* vendrá en $f\ c\ d\ g$ cuyos puntos orientaremos con los planos laterales del prisma auxiliar lo propio que hemos hecho con el intrados.

Las juntas se determinan ahora brevemente, pues las curvas $a\ k$ del intrados y la $c\ f$ del extrados son directrices de una superficie alabeada, bastándonos puntos de marca en una y otra para la determinación de las generatrices. Dichos puntos recordemos que se habrán obtenido en las proyecciones

horizontal y vertical de la piedra así como en los desarrollos al venir á la determinación de las piedras (n.° 330) y por tanto nos será fácil en la (Fig. 182") que representa la piedra la ultimada) la colocación y numeración de los puntos extremos de las generatrices de junta, y así devastando la piedra de modo que podemos unir los puntos homólogos dos á dos tal como lo indica la regla R', llegaremos á ultimar las tres superficies de junta, una transversal y dos de lecho; en cuanto á la cuarta cara será plana, pues pertenece al paramento $p\ q\ s\ r$ y quedará determinada enseguida por la condición de demarcar rectas situadas en este plano que encuentran á las curvas $p\ q$, $q\ s$, $s\ r$, $r\ p$ en puntos determinados de antemano en la plantilla que nos da la cara anterior de la dovela en el plano de paramento, el cual es uno de los datos en cuestión.

333. Sistema de Baiveles. En este método se deja sin labrar el extrados, concretándose á la labre del intrados cilíndrico, del cual luego se parte como á base para hacer el labrado de las superficies de junta alabeadas, echando mano de baiveles especiales que indican en cada una de sus posiciones las generatrices de dichas juntas pudiéndose así efectuar el trabajo con rapidez y economía de mano de obra.

(Lám. 25, Fig. 183). Para con respecto á las operaciones auxiliares y previas que es necesario llevar á cabo antes del labrado se diferencian muy poco ó por mejor decir son iguales á las empleadas en el sistema anterior, eliminando solamente algunas de ellas en atención á que ya hemos indicado no tener en cuenta el labrado de la superficie de extrados; así es que supondremos que la piedra que se escoge viene representada por su proyección horizontal y vertical mediante la línea de tierra $L'\ T'$ ó lo que es lo mismo $L\ T$ puesto que la proyección vertical la empleamos representada en el plano de la sección recta. Proyectaremos también la piedra sobre un plano tangente ó la superficie de extrados y admitiendo ya como efectuadas estas operaciones puesto que las mismas son iguales á las vistas detalladamente en el caso anterior obtendremos así esta proyección tomando como á línea de tierra la $L''\ T''$ paralela á $L_1\ T_1$ traza del plano tangente.

Circunscribiendo ahora el rectángulo $P\ Q\ N\ M$ á la proyección obtenida éste servirá de bases para un prisma construído en las mismas condiciones que en el caso últimamente explicado y allí como aquí se procederá á buscar las curvas

de intersección del cilindro de intrados con los cuatro planos $P\ Q$, $M\ N$, $N\ Q$, $Q\ P$, prescindiendo de las que corresponderían á la intersección de estos mismos planos con el extrados.

Reproduciendo pues las operaciones que para este objeto se han detallado en el párrafo anterior y suficientemente indicadas en nuestra figura, rebatiremos dichas cuatro caras del prisma con las curvas de intersección encontrando en $M\ M_1\ N_1\ N$ la curva en $B\ m$ y con ella la cercha δ, el $P\ M\ M_1\ P_1$ y con ella la curva $m\ C'$ así como la cercha α, la $Q\ N\ N_1\ Q_1$ con la curva $q\ B'$ y la cercha γ y finalmente la $Q\ P\ P_1\ Q_1$ con la curva $q\ C$ y la cercha β; todas estas cerchas están expresadas por la parte rayada que es el contorno por el cual se han de cortar ellas y por lo tanto lo único aprovechable del rebatimiento y operaciones y con éstas podemos ya pasar directamente al labrado de la piedra (Fig. 183').

Escójase un prisma cuyas dimensiones aproximadas y con creces sean las que se indicaron en el párrafo anterior, sobre una de sus caras laterales tal como la $M\ M_1\ N_1\ N$ lábrese á partir de la arista $M_1\ N_1$ una pequeña superficie plana no más en una extensión á propósito para poder colocar la cercha δ, hágase otro tanto en la cara $N_1\ N\ Q\ Q_1$ partiendo de la arista $N_1\ Q_1$ labrando una pequeña superficie plana hasta poder indicar en ella la cercha γ, luego procédase lo mismo con las otras dos caras hasta la colocación de las cerchas β y α. Teniendo así dispuestas las curvas $m\ B$, $B'\ q$, $q\ C$, $C'\ m$, ellas van á servir ahora de directrices de la superficie cilíndrica de intrados, siendo evidente que uniendo B con B' y C con C' las rectas $B\ B'$ y $C\ C'$ serán la dirección de las generatrices resultado del corte del susodicho cilindro con el plano $M_1\ N_1\ Q_1\ P_1$. Como al ir encontrando las cerchas referidas habremos hecho uso de varias generatrices cuyas intersecciones con los planos de la cercha nos habrán dado puntos de las mismas, se infiere fácilmente que cada generatriz se apoyara en sus dos puntos extremos en dos de estas curvas, de modo que habiendo tenido el particular cuidado de señalar los puntos en cuestión en estas cerchas, estos puntos de marca se trasladarán á la vez con las curvas de cercha en la misma piedra y marcándolos dos á dos con los mismos números 1 con 1, 2 con 2, 3 con 3, etc., ellos serán suficientes para indicar del modo como hemos de proceder al desvaste hasta alcanzar el lugar geométrico de todas las posiciones de las ge-

neratrices que iremos ultimando con el auxilio de la regla generadora apoyándose en dichas curvas y siempre paralela á la dirección $B B'$, $C C'$ hasta obtener la concavidad referente á la superficie cilíndrica de que se trata.

Se procede luego á limitar dicha superficie cilíndrica en los justos límites que interesa á la piedra de que se trata y para esto es cuando se hecha mano del desarrollo *a b c d* de la superficie de intrados colocándolo en la verdadera situación que ha de tener en el cilindro, orientándonos para ello insiguiendo las instrucciones referidas en el párrafo anterior puesto que en definitiva las operaciones que hasta ahora llevamos hechas son reproducción fiel de las allí expresadas.

Obtenida la piedra en esta disposición, se labra inmediatamente las superficies de junta y en esto precisamente es en lo que se diferencían los dos casos. Pasemos para ello á la (Figura 183'). Constrúyase ante todo un baivel compuesto de tres partes la primera *s v* que afecte en uno de sus bordes la curvatura de la sección recta del cilindro tomada en sentido inverso esto es, en disposición convexa, luego otra rama rectilínea *v N* en dirección normal á la primera, esto es, en el sentido de las normales de la bóveda (cuyas dos ramas así producidas pueden deducirse de la misma sección recta) y finalmente una tercer rama rectilínea *R* fijada invariablemente á la primera rama curvilínea perpendicular á ella y por lo tanto dirigida según las generatrices del cilindro. Es evidente ahora que si en la superficie cilíndrica que hemos labrado limitada por *a b c d*, señalamos una serie de curvas tal como por ejemplo la *v t* situadas en el sentido de las distintas secciones rectas colocamos el baivel referido de modo que la rama curvilínea coincida con una de estas últimas líneas adaptándose perfectamente su convexidad á la concavidad del cilindro al paso que la regla *R* se superponga sobre la generatriz correspondiente entonces el vértice *v* entrante del baivel coincidiendo con el punto correspondiente de la arista *a d* la tercer rama *N* nos dará forzosamente la dirección de la normal al intrados en el referido punto *v*; de modo que así haciendo en todos los puntos del perímetro curvilíneo *a b c d* tendremos un guía para proceder el desvaste indicado por la dirección que llevan los ramales *N* hasta tanto poder estar cada uno de ellos ajustado en la piedra en su arista correspondiente dándonos su lugar geométrico las cuatro superficies alabeadas que se cortarán según las cuatro normales *a γ*, *b h*, *d x*, etc , limi-

tadas aproximadamente en la parte superior según lo que nos indique el grueso de la bóveda pues ya hemos dicho que el trasdos no se labra.

334. Cuarto. *Sistema de la proyección horizontal.*— Como el mismo nombre lo indica se origina este método por razón de extraer la piedra de un prisma cuyas bases sea el contorno aparente de la misma, sobre el plano de proyección horizontal, siendo su altura la que tenga la dovela en el aparejo deducida ésta, ya sea de su proyección vertical ó de la que aparece de su proyección en el plano de la sección recta.

Al objeto de evitar pesadas repeticiones, supondremos ya que la piedra está completamente determinada en proyección horizontal (Fig. 184, Lám. 26.) y en la que se refiere al plano de la sección recta. El contorno aparente de la primera proyección está expresado en q^h p^h c^h b^h n^h y el referente á la segunda b^v m^v q^v d^v de modo que extendiéndose dicha proyección según vemos hasta el diámetro $q^v O$ de la sección recta esto indicará que la piedra escogida parte del arranque del cañón. Las líneas vistas y ocultas así como todas las letras que las acompañan darán conocimiento bastante para comprender y deslindar á la vez cuales son las superficies de intrados extrados y juntas sin que tengamos necesidad de insistir sobre este particular en la prosecución de lo que vamos á hacer referencia con respecto á este labrado, todo en méritos de haber tratado sobre este asunto repetidas veces.

Circunscríbase á la proyección horizontal el cuadrilátero mínimo señalado por las letras *A B C D*; el prisma capaz entonces se compondrá de las dos bases cuya forma será la del citado cuadrilátero, mientras que la altura de dicho prisma será la separación de dos planos horizontales conducidos respectivamente por el punto más alto y más bajo de la piedra. Véase este prisma en perspectiva en la (figura 184^{VIII}) en donde se representa con las mismas letras que las indicadas en la proyección. La altura antedicha, dicho se está, que se podrá deducir fácilmente de la simple inspección de la proyección de la dovela sobre el plano de la sección recta.

Si ahora concebimos que las superficies que limitan la piedra tanto los cilindros de intrados y de extrados, así como las juntas alabeadas, se prolongan por una y otra parte hasta venir á cortar los planos verticales *A B*, *B C*, *C D*, *A D*, del prisma que la encierra, claro es que estas líneas de intersec-

ción, podrán servir dos á dos de directrices de las mentadas superficies, pudiéndose ya labrar éstas para que luego queden terminadas en los verdaderos límites que de ellas se deduzcan ya por los desarrollos de los cilindros, ya también por las verdaderas magnitudes de las generatrices de los helizoides.

Así haciendo tendremos pues cuatro patrones auxiliares, uno para cada cara vertical. Veamos pues el modo de encontrar cada uno de estos, por ejemplo el que corresponde al plano $B\ C$, buscando su intersección con el cilindro de intrados. Tres puntos de la curva nos bastarán. Así la generatriz $e^h\ e$, ésta corta al plano vertical $B\ C$ en el punto e y á una altura del plano de arranque igual á $e_1\ c^v$ la generatriz que parte del punto c^h nos corta también al mismo plano según el punto c^h y á una altura $c_1\ c^v$, finalmente la generatriz que parte del punto b^h corta al referido plano en el mismo punto proyectado en b^h y á una altura $b_1\ b^v$.

Si rebatimos ahora el plano $B\ C$ alrededor de su traza horizontal, obtendremos su perímetro en $B\ B'\ C'\ C$ y en su interior los puntos de intersección á que antes hemos aludido vendrán á situarse en c_2, e_2, g y tales que sus distancias á la charnela serán $e\ e_2 = e_1\ e^v$, $c\ c_2 = c_1\ c^v$, $Cg = b_1\ b^v$, y uniendo todos estos puntos por un trazo continuo obtendremos la curva $f\ c_2\ e_2\ g$ y rayando todo lo que marca la parte inferior de la curva nos indicará el primer patrón auxilar α de los cuatro que hemos mencionado.

Si nos proponemos ahora encontrar el correspondiente al plano vertical $A\ B$ rebatiéndolo de la misma manera alrededor de la traza horizontal como charnela, veremos como el punto r intersección de dicho plano con la generatriz del cilindro vendrá á rebatirse en r_2 á una distancia $r\ r_2 = r_1\ r^v$ el punto k quedará fijo en la charnela por ser intersección del plano $A\ B$ con la generatriz de arranque que pasa por d^v, d^h, y que el punto B se rebatirá en f' á una distancia $(B\ f' = B\ f)$, porque la generatriz que lo ha producido es la misma que ha cortado al plano $B\ C$ cuando se ha deducido la curva del patrón α. Así tendremos la curva $k\ r_2\ f'$.

Pero aquí el mismo plano $A\ B$ es susceptible de ser cortado por la junta alabeada y transversal cuya directriz es la hélice $d^h\ c^h$ y nos conviene por tanto encontrar esta intersección. Un punto cualquiera lo encontraremos si tomamos en consideración una generatriz cualquiera tal como la $c^h\ p^h$ la

cual prolongada en t al referido plano y á una altura tal que se encontrará proyectando dicha normal en $O\ p^v$ en el plano de la sección recta refiriendo luego á ella el punto t en t^v, de modo que tomando la distancia sobre $A\ B$ y perpendicular á ella $t\ t_2 = t_1\ t^v$ obtendremos así en el rebatimiento el punto t_2 de que se trata, repitiendo estas mismas construcciones se llegará á la obtención de los puntos j, i y con ellos la curva $j\ t_2\ i$ que será la intersección que antes nos proponíamos encontrar, de modo que rayando la parte interior que cierran las dos curvas en la fig. 184' será el segundo patrón que llamaremos β.

En la (Fig. 184''') está representado el rebatimiento de la cara vertical $A\ D$ y con ella la curva $z_1\ x_1\ v_1\ q_1$ intersección de dicho plano con la junta continua alabeada cuya directriz es la hélice $a^h\ d^h$; cada uno de sus puntos se han encontrado como en el caso anterior, valiéndonos de las generatrices $u\ v$, $i\ x$, referidas luego en el plano de la sección recta, en donde se encontrarán las alturas respectivas de los puntos v, x, ... *etc.*, cuyas alturas nos darán en definitiva las que corresponden á los puntos de la curva de la fig. (184''') que forma el tercer patrón δ.

Por último el que corresponde á la cara $D\ C$, ésta como constituye la cara de paramento del puente, se infiere que la proyección vertical de la embocadura del mismo en un plano paralelo á ella nos dará por sí misma las verdaderas magnitudes de las plantillas ó caras de cabeza de cada una de las piedras que forman dicho paramento; suponiendo pues que se han efectuado las operaciones para dicha proyección obtendremos allí figura (184IV) el patrón γ.

Sin embargo á pesar de estas cuatro plantillas auxiliares, muchas veces no bastan ellas por sí solas para que fijen de una manera bastante exacta la dirección de las generatrices de las superficies qne contornean la piedra, y es que según de la manera como está situada ésta con respecto al prisma capaz que la envuelve las líneas de intersección que hemos encontrado aparecen deficientes, ya por ser de una extensión muy reducida en los límites del corte, ó ya también por existir cruces muy agudos difíciles siempre de precisar. Entonces también se echa mano de desarrollos auxiliares de los cilindros rectos que proyectan ortogonalmente sobre el plano horizontal que pasa por el punto culminante de la piedra, ó por el que pasa por el punto más bajo, las curvas que se presentan con más dificultad en su obtención.

Aquí en este nuestro caso las curvas de que se trata son $m^h p^h$, $n^h q^h$, $q^h p^h$.

Una de ellas por ejemplo la $p^h m^h$: como esta curva puede considerarse como la sección recta del cilindro vertical que la proyecta, claro es que si suponemos que está trazada esta sección recta por el punto más bajo de la piedra, podrá desarrollarse dicho cilindro en la (Fig. 184^V) suponiendo ser $m\ p$ la rectificación de dicha sección recta $p^h\ m^h$. todo punto intermedio tal como π, tendrá su representación en la (Fig. 184^V) en un punto tal como π, así es que si ahora levantamos verticales en los puntos m, π, p iguales á las alturas de cada uno de estos puntos del espacio, alturas que se determinan inmediatamente en la proyección vertical del puente sobre la sección recta, como indican las letras en la figura correspondiente, se obtendrán los puntos en la (Fig. 184^V) m'', π'', p''. y con ellos la curva $m''\ \pi''\ p''$ que será la transformada en el desarrollo de la curva de intrados proyectada horizontalmente en $m^h\ \pi\ p^h$, cuyo desarrollo llamaremos φ por medio del cual nos será fácil desvastar la piedra hasta venir á buscar en su seno los distintos puntos de la citada curva, cuyos desniveles sucesivos de los mismos, nos los facilitarán las distintas generatrices del desarrollo en los trechos correspondientes que median entre la transformada y la sección recta.

Pasando por operaciones análogas y que están convenientemente indicadas con sus letras de referencia vendremos á obtener las figuras (184^{VII} y 184^{VI}), cuales proporcionan los desarrollos y transformadas ψ ε que se refieren á las curvas proyectadas horizontalmente en $n^h\ q^h$, $q^h\ p^h$.

Y con esto podemos ya pasar enseguida al labrado de la piedra pues hay elementos suficientes para ello. Sea la (Figura 184^{VIII}) el prisma $D'\ D\ C\ C'\ B'\ B\ A\ A'\ D'$ el prisma envolvente del cual hemos hecho ya referencia, colóquese en la cara $C\ B\ B'$ el patrón α que viene limitado por $C'\ B'\ f\ b$, sobre la cara $A\ B\ B'$ colóquese el patrón β que con el situaremos las curvas $k\ f$, $y\ i$ en la cara $A\ D\ D'$ la plantilla δ y con ella la curva $n\ q$ y finalmente en la cara de frente $D\ D'\ C'$ la plantilla γ. Ya desde luego las curvas $K\ a\ b$, $f\ k$ pueden servir de directrices para labrar la superficie cilíndrica interior mediante puntos de marca en una y otra $K\ k$, *1-1*, *2-2*, *3-3*... etc. Labrada así ésta, limítese enseguida colocando el desarrollo $a\ b\ c\ d$ orientándonos para esto con los puntos

a, b los cuales están fijos y á nuestro alcance y para con respecto á otro punto tal como d se podrá encontrar con el auxilio de la distancia $d\ k$ en la proyección horizontal. Sobre la parte superior de este prisma colóquese el cuadrilátero curvilíneo $x\ m\ p''\ q''$ que tenemos en verdadera magnitud, éste nos dá las líneas curvas $m\ p''$, $p''\ q''$, $q''\ x$ cuales no son más que las proyecciones de las hélices del extrados sobre el plano horizontal auxiliar conducido por el punto más alto m. Con el auxilio de estas curvas la $m\ \pi\ p''$ por ejemplo podremos labrar ya enseguida un cilindro vertical ensayando varias veces la profundidad de sus generatrices hasta tanto que podamos alojar convenientemente el patrón φ, así habremos deslindado en su profundidad, la curva de doble curvatura $m\ p$, de modo que todo punto π de la curva superior será la proyección de su correspondiente π' de la línea del espacio. Con el auxilio de esta curva y la que antes hemos encontrado en $b\ c$ nos será ya fácil labrar la junta alabeada superior por medio de generatrices que resbalen por dichas dos líneas dándonos la dirección puntos de marca que dos á dos los trasladaremos á la piedra partiendo de los puntos indicadores de la proyección horizontal cuando se trate de la formación de juntas por medio del trazado de las normales. Haciendo lo propio con las curvas $q''\ p''$, $x\ q''$ colocaremos los desarrollos, ε, ψ hasta venir á la fijación de las curvas $q\ p$, $n\ q$. Ahora con las curvas $q\ p$, $d\ c$ se puede trazar la junta transversal, y con las $n\ q$, $a\ d$ se puede construir la junta alabeada inferior valiéndonos en ambas superficies de generatrices y sus puntos de marca en conformidad con lo dicho en la primera junta.

Adviértase que en cuanto á la junta alabeada inferior hubiérase podido también trazar echando mano de la curva, $D\ v\ q$, pues ella y la curva de intrados $a\ d$ pueden servir de directrices á dicha superficie alabeada y en ambas señalados puntos de marca pareados correspondientes dos á dos en una misma generatriz, cuyos puntos se deducirán señalando generatrices en la proyección horizontal de la piedra (Fig. 184) las cuales se apoyarán sobre la línea de intrados $a^h\ d^h$ mientras que por otra parte irán á cortar al plano vertical $A\ D$ del prisma capaz en los puntos x, v, todos los que hemos dicho que trasladaríamos á la piedra.

Muchas veces al adoptarse este sistema de labra se suelen acompañar las dovelas de embocadura con las hiladas horizontales del muro pues entonces no hay necesidad de desvas-

tar toda la piedra superpuesta á la dovela y que forma la masa indicada en la (Fig. 184^{VIII}) en $n\ m\ p\ p''\ q''\ q\ n\ x\ q''$, cuyo contorno hemos tenido que labrar auxiliarmente para ir á buscar las líneas de extrados $m\ p$, $p\ q$, $q\ n$. Así pues se obtiene la ventaja de que no queden malogradas estas superficies cuyo trabajo ha sido necesario llevar á cabo, sirviendo la piedra que las forma, economizando mano de obra pues el trabajo de desvaste no es de mucho tan considerable y finalmente hay más enlace en el contacto y unión de juntas resultando así más favorecida la construcción de la totalidad del arco de embocadura.

La (Fig. 184^{IX}) nos dará idea de la forma de la nueva piedra insiguiendo las prescripciones que acabamos de indicar.

335. Quinto. *Sistema de la proyección vertical.*—La proyección vertical de la piedra es ahora la que va á servir de base de operaciones para el labrado, fijémonos para esto en las Figs. 185 y 185', de la Lám. 27 que representan respectivamente las proyecciones horizontal y vertical de la piedra elegida cuales datos suponemos ya determinados insiguiendo los medios conocidos. Esta piedra se ha escogido adjunta á una piedra de cremallera ó cojinete así es que una de las generatrices de la junta transversal inferior $e^h\ f^h$, $e^v\ f^v$ se encuentra horizontal y situada en el mismo plano de arranque de la bóveda, siendo éste el limitado por las líneas $A\ B$, $C\ D$ ambas paralelas que en su separación nos indican el grueso del muro de sostenimiento así como la dirección general del puente. El contorno aparente en el plano vertical está expresado por las letras $e^V f^V\ g\ c\ d\ a\ e^V$ y el relativo al de la proyección horizontal es $e^h\ h'\ g'\ c'\ b'\ a'\ e^h$. Trácense desde luego dos planos P, P', paralelos, perpendiculares al plano vertical y de modo que comprendan entre sí la proyección de la piedra escogida, teniendo en cuenta al trazar la dirección de dichos planos que esta separación sea la menor posible con el fin de que resulte economía en el bloque y en su desvaste. El galbo de las curvas del contorno aparente ya en general indican de por sí la dirección que es necesario dar á dichas trazas que muchas veces se toman si las circunstancias lo permiten de modo que sean tangentes á las mismas curvas ó cuando menos cuerdas de ellas.

Así dispuestos estos elementos se conciben prolongados

los cilindros de extrados y de intrados encontrando enseguida las intersecciones que producen los cortes á estas superficies al encontrar los planos auxiliares P', P, más al objeto de tener un nuevo contorno de la piedra que pueda ser capaz para construir un prisma auxiliar que en él esté contenida la piedra en cuestión, se proyecta ortogonalmente toda la figura de sección contenida en el plano P, sobre el plano P'.

Así pues este plano P' si bien se considera contiene la proyección de toda la piedra formando así ella un contorno que puede servir de base de un prisma que si se le dá por altura la separación de los planos $P\ P'$ será capaz para contener la piedra del espacio é irla á buscar allí colocada en el interior de este prisma en las mismas condiciones relativas con que están ligados en el espacio prisma y dovela. Encontremos pues estas bases: 1.° Intersección con el plano P. La generatriz del cilindro de intrados que pasa por el punto c corta al plano P' en el punto (t^v, t^h), iguales operaciones á ésta nos darán puntos intermedios y con ellos la curva que va de g' á t^h y téngase en cuenta que g es por sí mismo perteneciente á la curva que se busca por haber escogido adrede que el plano P' pasará por g.

Por la misma razón el pundo (d, d') por sí mismo pertenece á la curva de intersección del extrados con el citado plano. Escogiendo ahora por ejemplo el punto (e^v, e^h) por el cual pasa la generatriz de arranque exterior, éste vemos que cortará al plano de referencia en el punto q^h y escogiendo una generatriz intermedia en el propio extrados la que pasa por el punto h ésta vendrá á darnos el punto de corte en (r^v, r^h), así es que con otros puntos intermedios precisaríamos la segunda curva de intersección proyectada en $q^h\ r^h\ d'$.

Pasemos ahora á determinar las intersecciones de estos cilindros con el plano P, empezando por el del intrados, y para esto vemos que la generatriz de arranque que pasa por el punto ($f^v\ f^h$) corta á dicho plano en el punto e^v, $\varepsilon_1{}^h$, la que pasa por el punto (g, g') queda interceptada en el punto $l^v\ l^h$ mientras que la correspondiente á ($c\ c'$) nos dá el $\gamma^v\ \gamma^h$, resultando con esto la curva $\varepsilon_1{}^h\ l^h\ \gamma^h$, y analogamente deduciríamos en los puntos $e^h\ n^h\ m^h$ la curva de intersección con el extrados echando mano de las generatrices de extrados situadas á las alturas que indican los puntos de referencia en la proyección vertical.

Resta ahora según lo dicho proyectar estas dos últimas

curvas del plano P sobre el plano P' trazando desde cada uno de los puntos que las componen las perpendiculares á P' tal como expresan las operaciones de referencia y con esto tendremos ya estos dos cilindros proyectados en el plano P' con respecto en toda la parte de ellos que estén comprendidos en los dos planos paralelos límites, faltando no más disponer de esta proyección en su verdadero tamaño lo cual nos obligará á rebatir el plano P' sobre el horizontal de proyección.

Motivándolo la claridad de las operaciones, trasladaremos antes paralelamente á sí mismo el plano P' en P'' pasando por lo tanto en él los puntos d, t^v, S, r^v, g, p^v ... etc., con solo trazar por ellos perpendiculares á P'' y tener en cuenta los pies de las mismas; y en este estado efectuemos el rebatimiento, el punto p gira del arco $p\ p''$ y viene á colocarse en p' á la perpendicular trazada á la charnela desde el punto p^h, del propio modo el punto ($g'\ g$) se proyecta en l, éste gira luego del arco $l\ l''$ y se coloca en l' sobre la perpendicular que parte del punto g' sobre la charnela antedicha igualmente el punto ($t^h\ t^v$) se proyecta en t'', éste gira del arco correspondiente y entonces el punto se rebate en t', resultando ser la curva $p'\ l'\ t'$ el rebatimiento de la proyectada horizontalmente en $t^h\ g'\ p^h$ claro está que esta operación ahora se ha de repetir tres veces en atención á las otras tres curvas y suponiendo ya efectuadas éstas construcciones insiguiendo lo dicho anteriormente encontraremos que la curva $q^h\ r^h\ d'$ viene á rebatirse en $q'\ r'\ \delta'$, referente á la proyección de las otras dos curvas $\varepsilon_1{}^h\ l^h\ \gamma^h$, $e^h\ n^h\ m^h$ vienen también á rebatirse en $\varepsilon'\ R'\ \gamma'$, $e'\ n'\ m'$. Para distinguir con más facilidad este rebatimiento conviene ahora enlazar dos á dos estas curvas uniendo los puntos correspondientes por donde pasan las generatrices tanto de intrados como de extrados y así tendremos las líneas $e'\ q'$, $\varepsilon'\ p'$, $\gamma'\ t'$, $m'\ \delta'$. También es conveniente para unificar las operaciones de conjunto unir los puntos ε' con e', p' con q', γ' con m', t' con δ', y esto ya efectuado tendremos ya ultimado el contorno aparente expresado en los puntos límites $q'\ p'\ \varepsilon'\ R'\ t'\ \gamma'\ m'\ \delta'\ r'\ q'$ al cual le circunscribiremos el rectángulo menor posible expresado por las letras $E\ F\ G\ H$.

Preparemos pues ahora un prisma cuyas bases sean este rectángulo (Fig 185'') y cuya altura sea la separación de los planos $P\ P'$ colocando en su base superior $H'\ E'\ F'\ G'$ la plantilla $q'\ p'\ t'\ \delta'$ inscrita en la misma disposición que lo indica el rebatimiento en donde está señalada con las mismas le-

tras y en cuanto á la base inferior del prisma $H\ E\ F\ G$ se colocará la otra plantilla $\varepsilon\ \gamma\ m'\ e'$ inscrita en dicha base también en iguales condiciones que lo está en el rebatimiento anotada con las mismas letras, hecho esto las curvas $p'\ t'$, $\varepsilon\ \gamma$, así como las $q'\ \delta'$, $e'\ m'$ servirán como á directrices para el labrado de las superficies cilíndricas de intrados y de extrados, á cuyo fin se anotarán en todas ellas una serie de numeros pareados los cuales unidos respectivamente *1* con *1*, *2* con *2*, *3* con *3*..... etc , nos guiarán para desvastar la piedra hasta obtener las superficies cilíndricas tal como indica la (Fig. 185'). Faltará no más desvastar las partes laterales del prisma auxiliar de modo á cortar dos planos que pasen por $q'\ p'$ y $e'\ \varepsilon$ y el otro por $t'\ \delta'$, $\gamma\ m'$. De esta manera se tendrá el segundo prisma auxiliar representado por las letras $q'\ e'\ \varepsilon\ \gamma\ m'\ \delta'\ q'$ el cual se vuelve á representar en la (Figura 185'''), en donde se procederá á colocar los desarrollos en los cilindros cóncavo y convexo, desarrollos que conciernen dentro los límites que pertenecen á la dovela escogida, el del intrados por ejemplo vendrá colocado en $g\ c\ b\ f$ teniendo en cuenta para su debida posición las distancias de los vértices de sus cuatro ángulos, al plano superior de base del prisma, así el punto c lo fijaremos en la arista $t\ \gamma$ á la distancia $t\ c$ del plano de comparación igual á la verdadera magnitud de la horizontal que separa los puntos c, t en el espacio, dato que podemos inferirlo de las proyecciones; el punto g vendrá colocado en la misma línea curva $p'\ t$ puesto que está colocado en el mismo plano de la base y por lo tanto no hay separación con ella conforme lo indica la proyección vertical, el punto b situado en la generatriz que por él pasa y á una distancia $b\ S$ igual del mismo modo á la separación tomada sobre esta generatriz, para con respecto al plano de comparación, distancia $S\ b$ igual á la $b'\ S'$ de la proyección horizontal. Con iguales precauciones se efectuará la colocación del extrados $e\ h\ \delta'\ q$. Unánse luego los puntos g con h, f con e, c con δ', p con q y estas rectas serán visiblemente las normales que parten de los puntos extremos.

Finalmente las curvas $f\ g$, $e\ h$ servirán de directrices para la junta transversal $e\ f\ g\ h$, las $b\ c$, $q\ \delta'$ serán las directrices de la otra junta transversal alabeada $b\ q\ \delta'\ c$, las $g\ c$, $h\ \delta'$ para la junta alabeada de un lecho y por último las $f\ b$, $e\ q$ para la segunda junta de lecho. Desvástese pues todo lo excedente hasta la obtención de estas cuatro juntas alabeadas y se tendrá la piedra ultimada.

336. 6.° **Método directo**, conocido impropiamente por sistema de la *regla alabeada*. Tiene por objeto principal sustituir los helizoides de junta por paraboloides hiperbólicos, fundándose en que en la extensión reducida y límite del empleo de las juntas de lecho de una dovela, dichas dos superficies se diferencían muy poco; tamaña propiedad se hará tangible examinando la Lám. 28, Fig. 186.

Se tiene un cilindro de base circular y en él una hélice *A c B, A' c' B'*; se considera de esta curva un pequeño trecho *a c b, a' c' b'*, precisamente situado en el punto *c*, *c'*, de inflexión de la misma. Esta pequeña porción es la que representa la parte de línea de junta continua de una dovela. En este estado recordemos, que la junta de la bóveda se engendra por el movimiento del radio *(a o, a' o")* del cilindro resbalando por el eje *(o, o' o''')* y por la hélice *a c b, a' c' b'*, permaneciendo además horizontal, ó lo que es lo mismo paralelo al plano de la sección recta; así se forma la superficie helizoidal. Sustituyamos ahora á la directriz curvilínea por su cuerda *a b*, *a' b'* conservando empero el eje vertical como á segunda directriz, y el plano de la sección recta como á director. Haciendo luego mover la recta *a o*, *a' o"* por este sistema modificado, nos dará una nueva superficie alabeada, será el paraboloide hiperbólico *casi* confundido con el conoide helizoide antes obtenido. Observemos primero: que en este trecho y disposición particular, las dos generatrices extremas (*a o*, *a' o"*), (*b o*, *b' o'*) son las mismas para las dos superficies. Segundo: que en la proyección vertical la curva y su cuerda se confunde en el punto de inflexión y si bien es verdad que en la proyección horizontal deja de ocurrir esta coincidencia siendo precisamente en este punto *c*, *c'* en donde está más acentuada la separación *c d*, hay sin embargo en este mismo punto el feliz precedente que la normal siendo perpendicular al plano vertical que pasa por *A* y *B* se proyecta según un punto *c'*, esto es, en donde tiene lugar la inflexión, de modo que si bien la generatriz *c o* se apoya en puntos distintos *c*, *d* en la curva y su cuerda continua siendo generatriz á la vez en las dos superficies.

Resumen: que en un trecho muy corto estos mentados helizoide y paraboloide tienen tres generatrices comunes, siendo una de ellas la del medio esto es en donde existe la separación máxima; resulta pues que la divergencia entre ambas ha de ser insignificante, conforme comprueba la práctica de las operaciones.

337. La sagacidad del ingeniero inglés Mister Buch, fué bastante para descubrir semejante analogía y de ella se valió para sustituir enseguida el paraboloide al helizoide, teniendo con esto la ventaja de la doble generación del primero, la cual permite el trazado de generatrices con suma facilidad; pues es bien sabido que disponiendo de dos de ellas, basta la división de cada una de ellas en un mismo número de partes y uniendo dos á dos estos puntos dan inmediatamente generatrices del segundo sistema.

En el método directo de labra ó sea método de Buch, se empieza labrando una cara de junta, de ésta se pasa al cilindro de intrados y de éste á las demás juntas; el trasdos queda sin labrar, simplemente desvastado.

338. Sea en la (Fig. 187, Lám. 28) la proyección horizontal y vertical de la piedra determinada como tantas veces se ha referido, únicamente, que como se emplea la proyección vertical en el plano de la sección recta, y atención hecha á que todas las piedras son susceptibles de hacerlas girar dentro del grueso de la hilada de que forma parte, hasta colocarlas en el sitio que más nos plazca, así lo haremos hasta tanto se coloque en la parte culminante a^v c^v q^v m^v y de ésta como á consecuencia la proyección horizontal de que depende y que muestra la figura. Así los datos circunscribamos á la proyección horizontal, el rectángulo *A B C D*, con el solo objeto de tener las bases y fijas las dimensiones aproximadas del prisma capaz que haya de contener la piedra, pues en este método este prisma auxiliar no se labra.

Escojamos un nuevo plano vertical *L' T'* que pasa precisamente por *A D* y en este plano proyectemos las normales (a^h m^h, a^v m^v) ($b^h n^h$, $b^v n^v$) al intrados y vendrán á situarse en *a m*, *b n*. Si nos fijamos bien en cada una de ellas recordaremos que cada una forma en el espacio un lado de un trapecio cuya altura es la proyección encontrada en el plano *L T*; y los dos lados paralelos las distancias respectivas de los puntos extremos *a*, *m* al plano vertical, distancias que tenemos en a'' a^h, m'' m^h; rebatiendo estos trapecios alrededor de sus respectivas alturas *a m*, *n b* vendrán á tomar la disposición marcada en *a m m' a'*, *b n n' b'*, con el auxilio de los mismos es que ahora podremos fijar en el espacio las generatrices m^h a^h, n^h b^h. Construyamos para esto dos reglas de madera que tengan la forma trapecial *a m m' a'*, *b n n' b'* y

prolongadas y largas como se quiera; dibújese enseguida sobre un lienzo de madera ó superficie bien fija y llana el cuadrilátero *m a b n*, levantando luego sobre *a m*, *b n* y verticalmente los dos trapecios de que se ha hecho mención, sustentándose sobre los lados *a m*, *b n*, correspondientes á los mismos, entonces los lados opuestos á cada uno de ellos *a' m'*, *q' n'*, guardarán en el espacio y entre sí la inclinación y posición que corresponden á las normales que representan cuando para compararlas se las refiere al plano *L' T'* que es la cara superior del prisma capaz, cara que en nuestro caso se toma como á plano de comparación. Si ahora dispuestas así estas dos piezas se las sujeta por dos travesaños (Fig. 187^{I}, Lám. 28) *M*, *M'*, el sistema de cuerpos así formado es lo que constituirá la *Regla alabeada* conocida así por los obreros ingleses, en la cual los lados *A B*, *A' B'* están situados en un mismo plano (el de comparación ó todo otro paralelo á él) mientras que la *P Q*, *P' Q'* representarán las normales ó generatrices de la superficie alabeada, en la relación de posición que se encuentran entre sí, y con el plano de comparación, base del prisma escogido.

339. Para servirse luego de la Regla alabeada, señálese sobre la superficie de la piedra en donde vaya destinada la junta Fig. 187^{II} dos líneas rectas *m a*, *n b*... guardando entre sí la misma separación y convergencia que las *A B*, *A' B'* de la (Fig. 187^{I}) abriendo enseguida en la piedra dos ranuras del grueso de la madera ó metal de que estén formados los trapecios antes referidos, introduciendo en estas acanaladuras el aparato citado de modo que la parte superior del mismo sea aquella en que las dos rectas *A B*, *A' B'* estaban en un plano. Profundícense estos descalces de modo que el aparato vaya entrando conservándose su parte superior paralela lo mejor posible á la cara de la piedra. Entonces las partes inferiores *P Q*, *P' Q'* se internarán (Fig. 187^{II}) en la masa del bloque colocándose en la situación relativa que concierne á las indicadas generatrices.

Sáquese luego el aparato y se tendrá la (Fig. 187^{III}) en donde uniremos los puntos *x*, *z*, y los otros dos correspondientes á la parte opuesta. Así podremos descargar al bloque de toda la piedra superior que pasa por el contorno *F G H*, apareciendo con esto la (Fig. 187^{IV}) en la cual uniremos los puntos *x* con *y*, *z* con *v* y las rectas *x y*, *z v* serán las gene-

ratrices del paraboloide, bastando ahora dividir estas rectas en un mismo número de partes iguales y por medio de una regla *R* unir dos á dos los puntos correspondientes, auxiliando á ello la labra y retoque que se vaya haciendo para que dicha regla pueda colocarse cómodamente en cada una de sus posiciones; el paraboloide de junta quedará labrado pero indefinido; falta limitarlo. Cortemos una cercha según la hélice (a^{h} *o* b^{h}, a^{v} *o* b^{v}) (Fig. 187) (esta curva la consideramos para este caso particular como plana, puesto que hemos tomado como recta su proyección horizontal, y que además debemos suponer circular por ser constante la curvatura de la hélice *) esta cercha la tenemos encontrada y rebatida en la (Fig. 187) en la línea $\alpha\ \omega\ \tau$.

Esta cercha la aplicaremos en la piedra de modo que pase por los puntos *y*, *v* (Fig. 187^{IV}), dibujaremos con ella la hélice del intrados, y hasta si conviene prolongarla; puesto que esta curva es idéntica á sí misma en toda su longitud.

Procédase luego al labrado de la superficie cilíndrica del intrados, valiéndose del *Baivel montado* de Mr. Buch, veamos en que consiste este ingenioso aparato.

340. Baivel montado.—Supongamos en la (Fig. 187^{V}) que la línea *a o b* representa una línea de junta continua, esto es un arco de hélice, y que se hacen pasar por dichos puntos *a*, *b* las normales *a m*, *b n*, al intrados ó lo que es lo mismo las generatrices *N*, *N'* del helizoide de junta. También por el punto *a* se hace pasar la *a S* que representa la sección recta del cilindro, así como la *a G* que es una generatriz del mismo. Del mismo modo por el punto *b* imaginamos análogas líneas designadas por *b S'* y *b G'*. La junta alabeada viene representada entre las curvas *a o b*, *m o n*.

Si ahora nos hacemos cargo de este conjunto de líneas formando un sistema fijo, compuesto de piezas de madera, cortadas cada una de ellas según la dirección y forma que afectan, tendremos idea de lo que consiste el Baivel de Buch. Lo artificioso del sistema, estriba en partir de la propiedad inherente á la hélice de ser idéntica á sí misma en toda su

* En la figura 187 se ha tomado algo exagerada la curvatura de la hélice, pero en la práctica, dicha curvatura se proyecta en el plano horizontal de tal modo que sin error sensible se la puede tomar como confundida con su tangente en el punto medio.

longitud, pues mediante esta circunstancia, la relación que existe en un punto cualquiera de la hélice entre una generatriz, la sección recta y la normal es siempre la misma. Esto permite que haciendo resbalar todo el sistema de líneas expresado en la (Fig. 187^{V}) de modo que la curva *a o b* resbale sobre la hélice dibujada en la piedra, entonces la *a S* va confundiéndose con las distintas secciones rectas, la *a G* va confundiéndose con las distintas generatrices del intrados, y la *a m* pasando por las distintas normales al cilindro, engendrará sucesivamente la junta parabólica.

Por el encontrario partiendo de ésta por encontrarse en primer lugar trazada, puédese formar la superficie cilíndrica colocando el patrón de modo que las ramas que representan las normales *N*, *N'* coincidan con dos generatrices del paraboloide mientras que la *a o b* coincide con la hélice; en esta disposición el cerchón *a S* nos indicará con su curvatura y dirección el descalce que es necesario practicar en la piedra para su debido aloje y coincidencia y una vez este resultado obtenido, una serie de rectas paralelas á *G* ó *G'* que serán todas generatrices de la superficie de intrados que luego podremos limitar valiéndonos del desarrollo.

341. Hemos indicado que el baivel móntado está formado de una serie de piezas de madera, las cuales han de estar ensambladas entre sí de un modo invariable, y para esto fijémonos en la (Fig. 187^{VI}) que representa la proyección horizontal de todas las líneas de que hemos hecho referencia y anotadas con las mismas letras. La cuestión será construir un bastidor de tablas verticalmente dispuestas y obrando de canto. La que está en la dirección *a b* la cortaremos según el arco de hélice, que se ha tomado con aproximación como curva plana; las tablas que tengan la dirección *a S*, *b S'*, se cortarán afectando la misma forma circular, tomada en la sección recta del intrados; mientras que las tablas de madera que están indicadas por *G G'* vendrán cortadas por los planos horizontales que pasan respectivamente uno por los extremos *b S* y otro por los *a S'* de la hélice y de los arcos de la sección recta.

Si ahora damos forma y cuerpo á este aparato, por medio de las distintas piezas que lo informan, así como introducimos dos reglas normales á las respectivas secciones rectas *a S*, *b S'*, cuyas normales arranquen cada una de ellas una de *a* y otro de *b* y concibiéndolo todo en relieve tendremos la (Fig. 187^{IX}), en la que van designadas con las mismas letras las tablas á que nos hemos referido.

Las normales *N*, *N'* se determinan de posición con la condición de estar situadas en los planos de las distintas secciones rectas y de ser perpendiculares, según ya se ha dicho, á los arcos de éstas. Como es condición indispensable que no haya ninguna clase de alteración en los ángulos ó inclinaciones de estas normales *N*, *N'* con respecto á las secciones rectas y arco de hélice correspondiente, conviene asegurarse mucho de la bondad del ensamblaje, coadyuvando á ello, introduciendo dos pequeños codales representados en la (Figura 187^{IX}) por las letras *K K'*.

Por lo demás la (Fig. 187^{VII}) nos demuestra la colocación del baivel montado, coincidiendo según hemos dicho las ramas *N N'* con las dos generatrices correspondientes del paraboloide hiperbólico, mientras que el cerchón *a' S* alojado en la entalladura que le corresponda, nos dará la sección recta del cilindro y con ella la dirección de las distintas generatrices del mismo *G*, *G' g...* etc., las cuales guiarán al obrero, para el desvaste, hasta tener así labrada la superficie cilíndrica de intrados, la cual se limitará con el auxilio del desarrollo; trazado éste se procede á la labra de la segunda superficie de junta, valiéndonos de la otra mitad, no empleada hasta ahora del baivel montado; véase para esto la (Fig. 187^{VIII}), para lo cual bastará aplicar sobre la superficie del intrados ya labrado, la mitad de dicho patrón, pero de modo que las generatrices *N*, *N'* de la superficie de junta que se va á labrar, se sitúe sobre dos ranuras ó descalces abiertas sobre la piedra, en lo que será segunda cara de junta.

Fijadas y trazadas ya estas dos generatrices, bastará dividirlas en el mismo número de partes iguales, unir respectivamente dos á dos los puntos que así resulten y el desvaste y labrado necesario para llegar á obtenerlas nos dará finalmente la segunda junta alabeada. En cuanto á las juntas transversales, fácilmente se concibe su labrado desde el momento que están limitadas cada una de ellas por las normales en los puntos extremos, las que divididas en partes y en un número igual nos dará inmediatamentc estas superficies si descargamos la piedra necesaria, siguiendo el respectivo labrado, guiando todas estas operaciones el movimiento conti-

nuo de una regla que resbale por todos los puntos de marca que antes hemos fijado, dando muestra de ello la (Fig. 187^{VIII}) por la situación de la regla R'.

342. Solución práctica del sistema helizoidal.—Esta depende de una serie de principios, observaciones y teoremas que dejaremos sentados, á lo menos los más principales, para que queden convenientemente motivadas las construcciones de que es objeto aquella solución, al llevar consigo las simplificaciones que facilitan el problema.

343. 1.° **Cilindro del intrados. Su forma.**—Las bóvedas cilíndricas, bajo el punto de vista del aparejo helizoidal, pueden admitir dos clasificaciones según sea la curva de la sección recta. En la primera entran todas aquellas que los cilindros son circulares, esto es, de revolución y tienen por lo tanto una circunferencia como á línea de sección recta; entonces las curvas de paramento son elipses.

En el segundo grupo forman parte los cilindros que no reunen aquel requisito, esto es, que tienen por sección recta una curva cualquiera que no sea la circunferencia y aún en este caso, se suele escoger la elipse, excluyendo en general todas las demás formas; de modo que, dando por sentado la elección de esta curva, los cilindros ó bóvedas se llaman elípticas, y las líneas ó arcos de embocadura son por lo regular circunferencias, pues ya á drede, se parte de éstas como á dato y con arreglo á ella se encuentra la sección recta; todo lo contrario del primer caso que se parte del arco circular de la sección recta, y por él, se deducen las curvas de cabeza.

De estas dos clases de bóvedas cilíndricas suele no más emplearse la primera que es, la que verdaderamente aprovecha las propiedades del sistema inglés, quedando al ostracismo los cilindros elípticos por las dificultades que presentan en la práctica.

En efecto, admitiendo esta forma, resulta que las superficies de junta, dejan de ser conoides rectos ó helizoides del tornillo de filete cuadrangular.

No son idénticas á sí mismas las juntas en toda su longitud, no pudiendo por ello, aplicarse el sistema facilísimo de labra valiéndose ya de la regla alabeada única ó ya también

de los demás sistemas que son más laboriosos cuando no parten de la sección recta circular.

Hay que recurrir por lo tanto, al método de escuadría ó emplear un número considerable de baiveles si es este el sistema que se adopte y con ellos plantillas y formas especiales para cada piedra, pues ésta no puede hacerse resbalar como antes era dable á lo largo de las dos juntas que comprendían la hilada en donde la dovela situaba.

Si bien es verdad que las dificultades no son tantas cuando únicamente son de piedra labrada las dovelas de cabeza, no dejan por esto de presentarse entorpecimientos cuales tienden á alargar las operaciones.

Finalmente no se aviene esta disposición cuando se trata de pasos ó tuneles que cobijen ferrocarriles de doble vía, pues para dar á la bóveda la altura necesaria que permita el franco paso de los trenes, hay que aumentar de un modo notable sus dimensiones.

Es de mucho interés la opinión que sobre el particular tiene un notable ingeniero inglés, reputado y con fama universal para esta clase de trabajos Jorge Watson-Buch y no será por demás lo tengamos á la vista.

Dice: *En todos nuestros trabajos no más nos hemos referido á las bóvedas oblícuas cuya sección recta fuese circular, pues según nuestro criterio, esta forma es la más ventajosa y la única que debe adoptarse.*

Si bien es cierto que en algunos casos se han construído bóvedas elípticas, nosotros las consideramos, no son tan convenientes por lo que concierne á la estabilidad, requieren también más dificultad en la ejecución, produciendo en su consecuencia más gasto sobre todo cuando se trata de construcciones de albañilería.

Después de haber estudiado á fondo y con deliberado propósito esta cuestión hemos visto que las fórmulas que de las bóvedas elípticas se desprenden traen consigo numerosas complicaciones, comparación hecha de las deducidas de las bóvedas cilíndricas circulares.

Creemos por otra parte que no se presentan nunca en la práctica tal cúmulo de exigencias y fortuitas combinaciones que obliguen al trazado de las bóvedas cilíndricas-elípticas y por tal motivo las descartamos en absoluto.

Sin embargo veríamos con satisfacción que alguien

versado y práctico en esta clase de estudios, nos demostrara el error en que estamos si es que efectivamente en él hemos incurrido.

Descartando las bóvedas cilíndricas-elípticas quedan para la práctica las circulares y como entre ellas la sección recta puede ser igual á una semi-circunferencia ó menor que ella, esto es, un arco de círculo ó sea cilíndrica circular rebajada observaremos que en el desarrollo cuando sustituimos momentáneamente la cuerda por la sinusoide, al objeto de la división de dovelas, resulta que estas dos líneas tienen más discrepancia cuando se trata de un cilindro cumplido que no de otro rebajado; luego se infiere de aquí que en este último habrá más exactitud en el trazado, pues la disminución de error entre la sinusoide y su cuerda trae consigo como á consecuencia mayor aproximación en el sentido de las hélices, líneas de junta, para que la perpendicularidad de ellas con dicha sinusoide sea más notoria.

Así pues se infiere que para que el aparejo helizoidal en su mayor simplicidad se aproxime lo más posible á las ventajas del aparejo ortogonal conviene: *que la sección recta de la bóveda sea una porción de arco de círculo, con preferencia al arco de medio punto y con mayor razón á toda otra curva.*

344. 2.° **Desarrollos del intrados y extrados de la bóveda.**—El desarrollo de las líneas de extrados depende del que antes se haya efectuado para con respecto á las líneas de intrados, así es que obtenido este último, puede encontrarse por medio de él, el primero, y esto de una manera breve y fácil sin necesidad de tener que pasar por las operaciones inherentes de punto por punto.

Esta clase especial de operaciones se comprenderá fácilmente echando mano (Fig. 188, Lám. 29) de dos cilindros concéntricos y circulares cuyas secciones rectas sean $P'\ R\ N$ para el extrados y $K\ G\ M$ para el intrados. En proyección horizontal el segundo está representado en $A\ B\ C\ D$ y el primero en $Q\ F\ E\ H$. Recordemos ahora que las líneas continuas de intrados son hélices cuyas transformadas en el desarrollo son líneas rectas; ahora bien, puestas así las cosas las superficies de junta continuas siendo helizoides del tornillo de filete cuadrangular ó conoides rectos, éstos sabemos que si se les corta por una serie de cilindros concéntricos á aquél en

donde está enroscada la primitiva hélice, nos darán una serie de secciones que todas ellas serán hélices del mismo paso que la primera y que por lo tanto desarrolladas vendrán también á transformarse en líneas rectas, infiriéndose de aquí, que las intersecciones de las superficies de junta con el extrados serán hélices, apareciendo también en línea recta en el desarrollo respectivo viniendo á deducirlas inmediatamente una vez conocido el desarrollo del intrados.

Varias son las propiedades á que podemos acudir para obtenerlas:

Supongamos que la generatriz de arranque $B\ C$ se traslada para mayor claridad en $B'\ C'$ para hacerla servir luego de charnela y obtener la superficie cilíndrica de intrados desarrollada en $B'\ A'\ D'\ C'$. Aquí por los medios que en su lugar expusimos se dibujarán las rectas transformadas de las hélices que pasan por los puntos *1*, *2*, *3*, *4*, *5*, etc.

En la parte opuesta llevaremos á cabo el desarrollo del cilindro de extrados que encontraremos en $Q'\ H'\ E'\ F'$, después de haber trasladado $H\ Q$ en $H'\ Q'$ para hacerla servir también de charnela.

Fijándonos ahora en una transformada cualquiera del intrados tal como *2'-4*; su compañera del extrados se encuentra inmediatamente, si nos fijamos en que dicha transformada corta á las generatrices de arranque suficientemente prolongadas en los puntos d, e; pero como en cada uno de estos dos puntos la normal al cilindro es horizontal y perpendicular á dichas líneas de arranque se inferirá que estos puntos de intersección de las normales con el extrados serán los puntos d', e' colocados á la misma distancia de la sección recta que los originarios d, e; de modo que uniendo d' con e' la recta que así resulta será la transformada de la hélice del extrados.

Teniendo su dirección podemos ya desde luego trazar todas las demás enseguida, toda vez que siempre existirá alguna de las rectas tal como las que pasan por *1*, *2* que cortan sucesivamente en h, C' en cuyo caso las normales al cilindro y que pasan por estos puntos cortarán el extrados en h', C'' y haciendo pasar por ellos dos paralelas á la dirección encontrada $d'\ e'$ éstas suficientemente prolongadas nos cortarán á la cuerda de la sinusoide $F'\ Q'$ en los puntos *1''*, *2''*; y como que estas distancias ó separación de las transformadas ha de ser igual, resultará que teniendo en consideración una de es-

tas distancias tal como la $1''$-$2''$ y colocándola sucesivamente sobre dicha cuerda en $2''$-$3''$,-$3''$-$4''$... etc., desde las cuales se trazarán las paralelas respectivas á la primera transformada y se tendrá el desorrollo total de las mismas.

345. Pero podría suceder también que uno de los puntos de arranque *d*, *e* se encontrase fuera de los límites del dibujo, entonces podremos sustituirlo con ventaja por aquel otro punto tal como *g* producido por el encuentro de la hélice con la generatriz culminante. Y en efecto, en este especialísimo punto la normal al cilindro de intrados es una recta vertical, proyectándose por lo tanto los dos puntos de intersección de la normal con el intrados y extrados en un mismo punto, concibiendo así que al desarrollar el cilindro de extrados si se trata de encontrar la transformada de la hélice exterior que tiene por compañera la de intrados $4'$-6, el punto *m* le corresponderá como antes el punto *m'* como extremo de la normal, mientras que el punto extremo de la normal del punto *g* vendrá á colocarse según lo dicho en *g'*; de modo que la unión de *g'* con *m'* nos dará la dirección de las transformadas del cilindro exterior.

346. Finalmente también podría suceder que no tuviéramos á nuestro alcance ninguno de los dos puntos de arranque y entonces será preciso buscar por medio de ciertas propiedades, el ángulo de inclinación de las líneas transformadas del extrados con la línea de arranque. Este ángulo es el que se llama *ángulo trasdosal* y puede deducirse del intradosal rectificado, por medio de la relación que liga á ambos.

Recordemos solamente que toda hélice corta á las generatrices del cilindro donde está trazada, bajo un ángulo constante, cuya tangente trigonométrica es igual á la relación que existe entre la sección recta del cilindro y el paso de la hélice. Llamemos ahora *r* el radio del cilindro de intrados; *R* el radio del cilindro de extrados, *m* el ángulo intradosal rectificado, *M* el ángulo trasdosal, *h* el paso de la hélice.

Así tendremos para cada cilindro.

$\text{Tang.}\, m = \frac{2\pi r}{h}$, $\text{Tang.}\, M = \frac{2\pi R}{h}$ dividiendo miembro á miembro

$\frac{\text{Tang.}\, m}{\text{Tang.}\, M} = \frac{r}{R}$ de cuya igualdad resulta fácil conocer el

valor de *M*; en efecto (Fig. 188), si $a\,C'\,b$ es el ángulo intradosal rectificado, esto es, *m*; lo podemos prolongar hasta poder colocar en su interior la $a\,b = r = O\,M$ en sentido perpendicular al arranque $B'\,C'$. Tómese luego sobre la $a\,b$ prolongada, la distancia $a\,c = O\,N = R$; entonces examinando los triángulos $a\,C'\,b$, $a\,C'\,c$ veremos que resulta:

$\frac{r}{R} = \frac{a\,b}{a\,c} = \frac{\frac{a\,b}{a\,C'}}{\frac{a\,c}{a\,C'}} = \frac{\text{Tang.}\, a\,C'\,b}{\text{Tang.}\, a\,C'\,c} = \frac{\text{Tang.}\, m}{\text{Tang.}\, M}$ se infiere pues que el valor de *M* ó ángulo trasdosal vendrá expresado por la medida $a\,C'\,c$ y teniendo esta inclinación podremos operar como antes.

347. Se deduce pues de lo expuesto que á fin de que las operaciones sean breves y exactas convendrá en la construcción de un puente oblicuo que *el desarrollo de las líneas de junta en el trasdos se obtengan haciéndolas depender de las correspondientes compañeras desarrolladas en el intrados, valiéndonos de los medios que acabamos de exponer, escogiendo de entre ellos el más á propósito según sea la bóveda cumplida ó escarzana.*

348. 3.° **Ángulo intradosal rectificado. Límite de su empleo.**— Al trazar por el punto *C'* la perpendicular $C'\,K$ á la cuerda de la sinusoide $B'\,A'$; nos ha cortado á dicha $B'\,A'$ en un punto *K* comprendido entre los puntos *2* y *3*, formando así el ángulo intradosal natural y de éste hemos pasado á formar el intradosal rectificado en $B'\,C'\,2$ con sólo unir *C'* con *2*. Ahora bien el punto que se ha de tener en cuenta de la sinusoide $B'\,A'$, para unirlo con *C'*, no es como algunos autores indican el más próximo al *K* (puede serlo también en muchos casos, pero no en absoluto) sino aquel tal como *2* que unido con *C'* nos dé un ángulo $B'\,C'\,2$ menor que el natural.

Para convencernos de ello y apreciar lo ventajoso y conveniente de esta disposición, empecemos por encontrar el valor del ángulo intradosal natural $B'\,C'\,K$ que conoceremos por μ y lo evaluaremos en función de el esbiage θ.

Teniendo en cuenta que $B'\,C'\,K$ es igual al ángulo $C'\,D'\,S$ por tener sus lados respectivamente pendiculares; resultará que:

$$\text{Tang.}\, C'\,D'\,S = \text{Tang.}\, \mu = \frac{C'\,S}{S\,D'} = \frac{C\,M'}{\pi r} =$$

$$\frac{D\,M'\ \text{Tang.}\ \theta}{\pi\, r} = \frac{2\, r\ \text{Tang.}\ \theta}{\pi\, r} = \frac{2}{\pi}\ \text{Tang.}\ \theta.$$

Valor que es independiente del radio del intrados.
En las bóvedas escarzanas el valor del ángulo intradosal natural varía pero la expresión que lo representa también es independiente del radio.

349. Sea para esto la (Fig. 189) la sección recta de una bóveda oblicua escarzana, la proyección horizontal y desarrollo del arco de embocadura, tendremos aquí:

$$\text{Tang.}\ \mu = \frac{E\,B}{E\,A'} = \frac{A\,E\ \text{Tang.}\ \theta}{2\, r\, \omega} = \frac{2\, C\, G\ \text{Tang.}\ \theta}{2\, r\, \omega} =$$

$$\frac{2\, r\ \text{sen.}\ \omega\ \text{Tang.}\ \theta}{2\, r\, \omega} = \frac{\text{sen.}\ \omega}{\omega}\ \text{Tang.}\ \theta.$$

Esta fórmula concuerda con la anterior referente al cilindro de sección circular de medio punto, pues si en $\frac{\text{sen.}\ \omega}{\omega}$ Tangente θ damos á ω el valor de $\frac{\pi}{2}$ se convertirá en $\frac{2}{\pi}$ tang. θ. Resultado que nos indica lo que habíamos expresado de la independencia del radio con respecto al ángulo intradosal.

La inclinación, que según esto, hemos de dar á las hélices para que sean normales con respecto á las cuerdas de las sinusoides, ha de ser la misma para todos los cilindros circulares del mismo eje que el del intrados; y puesto que la normalidad de las aristas con respecto á las cuerdas, reemplaza aquí la importante condición de normalidad de las mismas aristas con respecto de las curvas de paramento; como sucedía en el aparejo ortogonal, es conveniente que el sitio en donde aquélla se verifique exactamente sea aquel en donde se ejerzan las presiones, esto es, en el cilindro medio de la bóveda.

Ahora bien, este resultado se obtendrá tomando un ángulo intradosal rectificado que sea menor que el intradosal natural. En efecto, sea m el ángulo intradosal rectificado que se adopte; sea R_1 el radio de un cilindro concéntrico al del intrados y mayor que él, este cilindro ya sabemos que cortará al lecho helizoidal según una hélice del mismo paso h que la hélice intradosal; si pues llamamos m_1 la inclinación de las nuevas hélices para con respecto á las generatrices de este último cilindro, es evidente que tendremos: tang. $m_1 = \frac{2\,\pi\, R_1}{h}$ pero en virtud del cilindro de intrados teníamos tang. $m = \frac{2\,\pi\, R}{h}$ y por lo tanto dividiendo estas dos expresiones se llegará á obtener la siguiente igualdad:

Tang. $m_1 = \frac{R_1}{R}$ tang. m; como hemos partido del supuesto que $R_1 > R$ se inferirá que $m_1 > m$. Luego si se consideran las hélices según las cuales un mismo lecho corta los cilindros sucesivos concéntricos al intrados, se verá que la inclinación de estas hélices sobre las generatrices va aumentando á medida que aumente el radio del cilindro, esto es, pasando del intrados al extrados.

Luego se infiere que si empezamos partiendo del intrados con un ángulo intradosal rectificado m menor que el ángulo natural μ, este ángulo se aproximará del valor μ sobre los siguientes cilindros, pasará por uno de ellos en el cual tenga el verdadero valor μ, para luego excederles los siguientes y ser mayor que él, en el extrados. La normalidad de las líneas de hilada sobre las cuerdas de las sinuosoides se efectuará en un cilindro intermedio entre el intrados y el extrados, lo que constituye una de las mejores condiciones para la estabilidad de la bóveda.

350. Concluiremos pues partiendo de la base que en todo puente oblícuo: *el ángulo intradosal rectificado ha de ser menor que el intradosal natural.*

351. 4.° **Curvas de arista ó líneas de junta en los paramentos.**—(Teorema de Mr. Lagournerie). Hemos visto que las superficies de las juntas continuas son helizoides de plano director y cortan á los planos de paramento según una serie de curvas; éstas tienen una notable propiedad que facilita su empleo, la cual ya vislumbrada por el ingeniero inglés Watson-Buch fué después demostrada por Lagournerie planteando la cuestión en el siguiente teorema.

Las tangentes á las líneas de junta de paramento en

los puntos en donde encuentran al arco de embocadura concurren en un punto llamado foco de las tangentes.

En la (Fig. 190, Lám. 30) escójase el plano vertical $L'\ T'$ correspondiente á la sección recta que pasa por el eje menor de la elipse de paramento.

La tangente en el punto a á la arista de paramento está producida por la intersección de este plano $A\ B$, en donde está situada dicha curva, con el plano tangente al helizoide en el indicado punto a. Mas, este último plano está determinado por la normal, ($a'\ a''$, $a\ O$) del intrados, que es paralela al plano vertical de proyección y por la tangente á la hélice, arista de intrados, su traza vertical será por lo tanto una recta parela á la $a\ O$ y deberá pasar por la traza vertical de la tangente á la hélice. Para determinar esta traza, tendremos en cuenta que en el desarrollo de un cilindro quedan confundidas en una sola recta la transformada de la hélice y todas las tangentes á esta; y por consiguiente en la $a''\ t$ tendremos representada la hélice que parte del punto $a - a'$ y su tangente por el mismo punto.

Pero esta tangente viene á cortar en t al plano $L'\ T'$; y como el triángulo $a''\ c\ t$ al arrollar la superficie sobre el cilindro, quedará situado en el plano tangente al mismo, puesto que contiene la tangente $a''\ t$ y la generatriz $a''\ c$, la recta $c\ t$ situada en el plano vertical de proyección, tomará en su verdadera magnitud la posición $a\ T$, y el punto T será por consiguiente la traza vertical de la tangente á la hélice.

La traza vertical del plano tangente al helizoide será pues la recta $T\ F$ paralela á la $a\ O$; y el punto F en que corta á la traza vertical $M\ N$ del plano vertical $A\ B$ será la traza vertical de la intersección de los dos planos. La tangente en el punto $a - a'$ á la curva de arista en el paramento será en fin la recta $A\ B - a\ F$, que corta al eje vertical de la elipse de paramento en el punto $F - M$.

Pero si bien observamos, la distancia $O\ F$ es independiente del ángulo $\alpha = N\ O\ a$ que fija la posición del punto $a - a'$ sobre la curva de paramento. En efecto, prolongando hasta que corte en d al plano $L'\ T'$, la recta $B\ e$ que representa la transformada de la hélice que parte del punto B tendremos:

$$\frac{a\ T}{o\ F} = \frac{O\ G}{O\ F} = sen\ \alpha = \frac{a\ h}{O\ a} = \frac{M\ j}{M\ l} = \frac{a''j}{B\ l} = \frac{a''\ c}{B\ l} = \frac{c\ t}{d\ l}$$

y como $a\ T = c\ t$ por las construcciones antes mentadas re-

sulta que $O\ F$ tiene de ser también igual á la cantidad $d\ l = \delta$ que es constante para cada bóveda.

Luego las tangentes á todas las curvas de arista en el paramento por los puntos de intersección de ellas con el cilindro de intrados, concurren al punto F, que por esta razón recibe el nombre de foco.

Esta propiedad es de sumo interés pues con ella simplificamos de un modo notable las juntas continuas de las dovelas de embocadura, toda vez que sustituimos sin error sensible á las superficies alabeadas por *simples planos* que pasen por cada una de las tangentes á las curvas de arista en el paramento y por las cuerdas respectivas de las hélices en los trozos de las mismas comprendidas ó formando parte de la correspondiente dovela de la embocadura.

352. La expresión $d\ l$ se obtiene en función de los ángulos de esbiage θ, é intradosal rectificado, m. Así es que en el triángulo $B\ d\ l$ se tiene:

$$d\ l = B\ l\ tg.\ m = r\ tg.\ \theta \times tg.\ m$$

Esta propiedad de las curvas de paramento no es exclusiva de un punto de intersección con el cilindro del intrados, sino que se verifica igualmente en todos los puntos en que dichas curvas son cortadas por cualquier otro cilindro concéntrico á aquel.

353. Los focos correspondientes á los demás cilindros (llamados focos secundarios para distinguirlos del de intrados que se conoce bajo el nombre de foco principal) se pueden deducir de éste muy fácilmente.

Designando por p la distancia del foco al centro de la elipse de paramento para el cilindro cuyo radio sea r tendremos:

$$p = r\ tg.\ \theta \times tg.\ m = r\ tg.\ \theta \times \frac{2\ \pi\ r}{h} = r^2 \times tg.\ \theta \times \frac{2\ \pi}{h}$$

y de aquí $\frac{r^2}{p} = \frac{h}{2\ \pi} \times cot.\ \theta$ siendo el paso h, de la hélice y el ángulo θ los mismos para todos los cilindros concéntricos, resulta que para todos ellos es constante la relación $\frac{r^2}{p}$.

Para construir esta expresión basta unir el foco F (Figura 191) correspondiente al cilindro de radio $O\ A = r$ con el

punto A, levántese en A una perpendicular AC á AF y del triángulo rectángulo ACF resulta que: $CO = \frac{\overline{OA}^2}{OF} = \frac{r^2}{p}$ luego CO es la constante $\frac{r^2}{p}$.

Para el cilindro de radio $OB = r'$ suponiendo $Of = p'$ también se verificará que: $\frac{r'^2}{p'} = \frac{r^2}{p} = CO$. De donde se deduce esta construcción: únase el punto B con el C levántese en B una perpendicular Bf' á CB y f' será el foco correspondiente al cilindro OB puesto que también del triángulo rectángulos $B'\ C\ f'$ se obtiene como anteriormente $CO = \frac{\overline{OB}^2}{Of'} = \frac{r'^2}{p'}$.

La relación $\frac{p}{r}$ cuyo valor deducido del de p es $tg.\,\theta \times tg.\,m$ es la excentricidad natural rectificada; y se obtiene la excentricidad natural reemplazando m por μ en este valor. La excentricidad natural tiene pues por expresión $\frac{2}{\pi} \times tg.^2\,\theta$ y es la que se emplea en todos los cilindros preliminares para el establecimiento de las bóvedas, porque difiere muy poco de la excentricidad rectificada y es independiente del modo como se haya dividido el intrados. Para $\theta = o$ resulta $p = O$ como debe resultar y á medida que θ crece p crece también.

354. 5.° Teorema de Mr. Lucas.—*Las normales á las proyecciones de las hélices de intrados sobre el plano de embocadura en los puntos de estas curvas con la elipse de cabeza pasan todas por un punto llamado foco superior* para distinguirlo del que se ha hecho mención en lo relativo á las tangentes de las curvas intersecciones de las juntas con los paramentos que se llama foco inferior, mentado en el número 351.

En la (Fig. 192) la normal en el punto $(a\ a')$ á la proyección de la hélice sobre AB vendrá deducida por la intersección de los planos AB, con el normal en el punto $(a\ a')$. Si tomamos ahora como auxiliar de operaciones el plano vertical XZ que pasa por el punto O' y paralelo á la sección recta del cilindro, tendremos que dicho plano normal tendrá de cortar á este auxiliar según una recta paralela á $O\ a'$ (porque pasando por la normal al cilindro y ésta estando contenida en la sección recta del punto que se considera, todo plano que pase por ella no puede cortar sino según una paralela

á la misma á todo otro plano paralelo al dicho de la sección recta). Además suponiendo ser en $(a'\ t',\ a\ t)$ la tangente á la hélice en el punto $(a,\ a')$; la normal á dicha curva por el propio punto formará ángulo recto con la tangente é irá á cortar al plano XZ hacia la parte opuesta de t' con relación á $(a,\ a')$ y á una distancia $a'\,\tau$ tal que estará ligada en la relación $a\,d^2 = a'\,t' \times a'\,\tau$. Luego construyendo esta expresión vendremos á deducir la distancia $a'\,\tau$ que colocada en la figura nos proporcionará la traza τ de la tangente sobre el plano XZ por lo que trazando la $\tau\,F'$ paralela á $o\ a'$ tendremos la traza del plano normal sobre el plano XZ. En este concepto, su intersección F' con la vertical $O\,O'$ (traza de $X\,Z$ con AB) es ya un punto de la traza del plano normal sobre el de cabeza, y como $(a,\ a')$ es otro punto (por pasar por él, el plano normal), se infiere que la recta que una a' con F' será la normal que se pedía, mientras que F' será el punto especial de foco á que alude el teorema, y lo será porqué su disposición es independiente del punto que se escoja en el arco de cabeza viniendo relacionada, por medio de una expresión á los ángulos de esbiage é intradosal rectificado y radio del cilindro, todos elementos que no varían cualquiera que sea la posición del punto que se escoja.

En efecto: para probarlo, tracemos en la (Fig. 192), la recta $F'\,b$ paralela á $\tau\,a'$, así tenemos los triángulos $O\,F'\,b$, $O\,a'\,c$ que son semejantes y nos dán,

$$\frac{O\,F'}{O\,a'} = \frac{F'b}{O\,c} = \frac{\tau\,a'}{O\,c} = \frac{\overline{a\,d}^2}{a'\,t' \times O\,c} = \frac{\overline{a\,d}^2}{a\,d \times tg.\,m \times O'd}$$

$$= \frac{\overline{a\,d}^2}{a\,d\,tg.\,m \times a\,d\,cot.\,\theta} = \frac{1}{tg.\,m \times cot.\,\theta}$$

$$\frac{O\,F'}{r} = \frac{1}{tg.\,m\,cot.\,\theta}$$

$$O\,F' = \frac{r}{tg.\,m\,cot.\,\theta} = r\,cot.\,m \times tg.\,\theta$$

Expresión que nos dice que la distancia $O\,F'$ del foco superior al punto O es independiente de la posición del punto escogido $(a,\ a')$ y está determinada en función de datos tales como r, m y θ que son constantes cualquiera que sea el punto que se escoja en el arco de cabeza, concluyendo así Mr. Lucas que todas las normales de que se trata concurrirán en el citado punto F'

Mr. Lucas hace observar que si se combinan las dos distancias focales (Fig. 193) cuyo valor hemos obtenido en los teoremas anteriores se tendrá $O\,F \times O\,F' = r^2\,tg.^2\,\theta$. pero se deduce fácilmente (por la comparación de los dos triángulos $O\,K\,f'$, $O\,E\,B$ que son iguales) que $r\,tag.\,\theta$ no es otra cosa que la distancia focal $O\,f$ de la elipse de paramento, concluyendo de aquí que el ángulo $F\,f\,F'$ es recto, lo que proporciona una construcción sencillísima para encontrar uno de los focos superior F ó F' cuando sea conocido el otro.

Haciendo pasar por los citados tres puntos una circunferencia, ésta cortará á la elipse de cabeza en dos puntos N, N', tales que la tangente trazada del foco superior F' á la elipse de cabeza en uno de estos puntos será perpendicular á la línea que une el foco inferior F al punto N.

Estos dos puntos N, N' son los qne llama Mr. Lucas *puntos de equilibrio* (*) viniendo á demostrar en un inspirado teorema que: *Los dos puntos de equilibrio, los dos focos superior é inferior de juntas y los dos focos de la elipse de cabeza están situados sobre una misma circunferencia determinada conforme se ha expresado.*

355. Mr. Lucas demuestra, desde luego, que si se considera el cilindro que tiene por sección recta la circunferencia descrita sobre $O\,F'$ como diámetro con relación al cilindro de la bóveda que tiene por sección recta la circunferencia descrita sobre $O\,K$ como radio, entonces las superficies del tornillo de filete cuadrangular que constituyen los lechos del aparejo helizoidal del cilindro inferior, cortarán el cilindro superior, según hélices, cuyo ángulo helizoidal será igual á θ, cualquiera que fuera el ángulo helizoidal que se hubiera adoptado para el cilindro inferior; cual propiedad conduce á Mr. Lucas á adoptar, en su aparejo, un ángulo helizoidal igual al complemento del esbiage, ó sea, al ángulo de la sección de cabeza con la sección recta. Esta conclusión le permite adoptar, como directriz de las hélices en el desarrollo, la recta trazada perpendicularmente á la cuerda de la sinuosoide en el punto de inflexión.

(*) Se llaman puntos de equilibrio de una junta aquellos en que el plano tangente es normal á los planos de cabeza, son precisamente los puntos en donde la junta reune las mejores condiciones de estabilidad impuestas á todo buen aparejo, así es que se llama curva de equilibrio de un lecho el lugar geométrico de los puntos de equilibrio del citado lecho ó junta. La junta componiéndose de una superficie del tornillo de filete cuadrangular el lugar geométrico de los puntos, en que el plano tangente es paralelo á una recta perpendicular á las caras de paramento será la curva de contacto del cilindro circunscrito, paralelo á la dirección mentada y dicha curva de contacto sabemos por la Geometria descriptiva, que es una hélice, cuya proyección sobre el plano de la sección recta es una circunferencia.

356. Resolución del sistema helizoidal simplificado, llevado en el terreno de la construcción práctica.—En este aparejo, que puede considerarse como la solución práctica de los puentes oblícuos, emplea no más piedra de canteriza en todas las dovelas que forman parte de los arcos de embocadura, así como las *cremalleras*, esto es, las piedras que situadas en los arranques forman parte, á la vez, del cilindro y de los pies derechos de la bóveda, también se suelen construir de cantería los ángulos de los pies derechos. El resto de la bóveda está compuesto de sillarejo burdamente labrado, correspondiendo dos ó tres hiladas de esta clase por cada pieza de la cantería; en lugar del sillarejo puede emplearse también el ladrillo. Según esto, nos concretaremos á las modificaciones inherentes á las piedras de cabeza. En primer lugar, se consideran limitadas, posteriormente, por planos verticales paralelos á los paramentos, en segundo lugar, las líneas de junta de éstos se sustituyen por líneas rectas, que les son tangentes, concurriendo todas al foco inferior de junta (351); luego las juntas alabeadas continuas se sustituyen por superfícies planas determinadas por cada una de estas tangentes y la cuerda del trozo de hélice perteneciente á la junta de que se trata y finalmente á las dovelas en lugar de terminarlas, por una superficie cilíndrica en el extrados, se limitan por medio de planos verticales y horizontales, viniendo á representarse así la piedra en la cara de cabeza por medio de formas de dovela pentagonal; por lo demás la resolución del conjunto del problema es como sigue (Fig. 194, Lám. 30.) $A\,B$ es el plano de embocadura, $A\,M$, $B\,N$ son las generatrices de arranque, limitando aquí todas nuestras operaciones á la embocadura y aun de ésta fijándonos en una sola dovela. Con arreglo álo dicho en el párrafo número 343 escogeremos como curva circular de la sección recta un arco rebajado, dado por la sección $A''\,B''$ y rebatido en $A''\,E\,B''$, de centro O''. Procédase como siempre en este sistema al desarrollo de la superficie cilíndrica el cual lo suponemos ya efectuado en la (Figura 194'), para luego trazar en éste la série de líneas que constituyen el despiezo, teniendo en cuenta, que para obtener

la dirección de las rectas que representan las hélices desarrolladas es necesario trazar, por ejemplo, en el punto B''' (347) una perpendicular á la cuerda de la sinuosoide, anotando el punto donde corte á una de las partes en que se ha dividido la cuerda de la sinuosoide opuesta, tomando enseguida en consideración el punto extremo de esta parte, que unido con el de partida nos dé, formando con la generatriz que pasa por éste, el ángulo intradosal rectificado, menor que el intradosal natural; así es como se ha procedido en nuestra figura; pero según el procedimiento de Mr. Buck, puede emplearse según vimos la recta que pasando por el punto de inflexión sea perpendicular, no á la cuerda de la sinuosoide; sino á la tangente de esta en el expresado punto, repitiendo luego la operación de sustituirla por la otra recta, que partiendo del mismo punto de inflexión pase por el extremo, en este caso, más próximo del punto, en que aquella perpendicular haya cortado á la cuerda de la sinuosoide opuesta.

Para con respecto á las líneas de junta discontínuas se escogen dos planos, tales como P, P' paralelos á los paramentos, los cuales cortarán al intrados, según arcos de elipses iguales al que resulte establecido en la cara de cabeza, resulta pues evidente que en el desarrollo las transformadas de estas dos elipses serán las sinuosoides $k\ d'''\ c'''$, $t\ \alpha\ u$, las cuales, como es natural, serán de trazo alternado, pudiéndose trazar, inmediatamente, por medio de un patrón cortado según la recta $N'\ B'''$ punto con la sinuosoide $B'''\ O'\ A'''$, cual patrón imprimiéndole un movimiento de traslación y ascenso resbalando el punto B''' por todos los puntos de la generatriz de arranque $B'''\ N'$, tendremos, que cuando el punto B''' vaya pasando sucesivamente por los k, t, entonces la sinuosoide $B'''\ O'\ A'''$ nos dará las otras dos $k\ d'''\ c'''\ l$, $t\ \alpha\ u$.

Con estas dos sinuosoides se limitan los intrados de las dovelas; la primera con las de lugar impar y la segunda limita las de lugar par; formando así entre unas y otras piedras unos entrantes y salientes, tales como $\delta\ d'''\ c'''\ v$ que prestan más facilidad á la retensión y enlace de las hiladas del sillarejo ó ladrillo.

Echas ya, estas preliminares operaciones en el desarrollo trasládanse enseguida á las proyecciones vertical y horizontal, conforme hicimos en el número 329 y así el intrados $a'''\ b'''\ c'''\ d'''$ se trasladará en $a\ b\ c\ d$ en el plano horizontal y en $a'\ b'\ c'\ d'$ en el vertical, deduciéndose sus alturas de $a''\ b''$

$c''\ d''$ encontradas en el plano de la sección recta. Escusado es indicar las operaciones relativas al arco de embocadura, pues esta será una parte de elipse $A'\ E'\ B'$ determinada por sus ejes conforme muestran las operaciones ó por puntos según otras veces tenemos indicado.

Antes de seguir adelante, determinaremos el foco F inferior de juntas (núm. 351) valiéndonos de la expresión r tang. θ tang. $m.$, la cual construída, valiéndonos de los triángulos, tales como $O\ x\ y$, $B'''\ v\ z$ nos dará el valor ó distancia, $\omega\ F$. Con el primer triángulo se obtiene r tang. $\theta. = x\ y$, y con el segundo $v\ z = B'''\ v.$ tang. $m = x\ y$, tang. $m. = r$ tang. θ tang. $m = o\ F$.

Construyendo esta expresión podremos obtener también la distancia $\omega\ F$. En efecto, encontremos el foco g de la elipse de cabeza, tendremos aquí el triángulo rectángulo $E'\ g\ \omega$ el cual nos da, $\omega\ g = \omega\ E' \times$ tang. $\omega\ E'\ g$; pero el triángulo $\omega\ g\ E$ es igual al, $y\ o\ x = \theta$ por tener dos lados evidentemente iguales y además un ángulo, que es el recto, luego el ángulo $\omega\ E'\ g$ es igual á su homólogo θ y por lo tanto tendremos $\omega\ g = \omega\ E' \times$ tang. $\theta = r \times$ tang. θ, si, pues desde el foco g trazamos una recta $g\ F$ que forme un ángulo m con la $\omega\ g$ tendremos formado otro triángulo $\omega\ g\ F$ que nos dará

$$\omega\ F = \omega\ g \times \text{tang. } m = r \times \text{tang. } \theta \times \text{tang. } m.$$

Obtenido el foco háganse concurrir á él las líneas de junta que pasan por a', b', ... etc., terminándose dichas líneas á las alturas destinadas para los planos horizontales de asiento y concluyendo las formas de las piezas tal como indica la figura de su referencia.

Las juntas hemos dicho que eran planos, una de ellas, por ejemplo; la inferior quedará determinada por la recta del paramento $b'\ q'$ y la cuerda $b'\ c'$ de la hélice. Este plano cortará evidentemente al plano posterior P según la recta $c\ p$, $c'\ p'$ paralela á la $q'\ b'$, mientras que al cilindro de intrados lo hará según un arco de elipse $b\ c$, $b'\ c'$ cuya diferencia de la hélice de este nombre será insignificante; finalmente cortará al plano horizontal de asiento $q'\ p'$, $q\ p$, resultando toda la plantilla de junta inferior proyectada en $q'\ b'\ c'\ p'$, $q\ b\ c\ p$, la junta superior quedará determinada del propio modo, y la verdadera magnitud de estas plantillas las encontraremos insiguiendo procedimientos empleados en caso análogo en el párrafo número 325 cuando se trató de una de las labras en el sistema ortogonal paralelo.

Estas dos plantillas, las dos de paramento anterior y posterior que ya el mismo plano vertical nos las describe en su verdadero tamaño, y finalmente los desarrollos del intrados; son elementos suficientes para el labrado de la piedra.

357. Labra de una piedra.—Queda reducido el sistema de labra, una vez admitidas estas simplificaciones á lo más elemental en su clase.

Escójase al efecto un bloque cuyas dimensiones aproximadas con algunas creces sean deducidas de la proyección horizontal y vertical.

Sobre la cara de la piedra que representa el plano horizontal de asiento superior colóquese una vez labrado (Figura 194ʺ) la plantilla *f' n' m' e'* deducida del plano horizontal, puesto que allí está en verdadera magnitud en *q n m p*.

Por las rectas *f' n'*, *e' m'* háganse pasar dos planos perpendiculares al horizontal últimamente labrado, y obtenidos que sean (por medio de la escuadra) colóquense en cada uno de ellos la plantilla correspondiente al respectivo paramento; esto es sobre el primero la *f' n' a' b' q'*, sobre el segundo la *e' m' d' c' p'*.

Ya colocadas estas dos figuras; las rectas *d' n'*, *n' m'*, *m' d'* nos determinan el plano de junta superior, el cual labraremos, colocando en él la plantilla de junta *a' n' m' d'*. También las líneas *q' b'*, *q' p'*, *p' c'* nos dan el plano de junta inferior en donde una vez labrado se situará en él la junta *b' q' p' c'*; y finalmente trazadas las curvas *a' b'*, *c' d'*, *a' d'*, *b' c'*, con ellas se procederá al labrado del cilindro de intrados valiéndonos de puntos de marca y generatrices de referencia como tantas veces hemos hecho, y que basta aquí reconociendo tan solo la figura.

358. Labra de uno de los salmeres formando cremallera.—Este lo tenemos proyectado verticalmente en *U' S J' Q' δ' δ U'''* y en proyección horizontal su contorno aparente está limitado por la figura irregular *U J Q X U'* y es que esta piedra la limitamos posteriormente por un plano paralelo á la sección recta más como éste se encontraría formando un ángulo muy agudo con el vertical *U U''*, de aquí es que se introduzca un pequeño chaflán vertical *U'' X* al objeto de robar el ángulo. Aquí como en la piedra anterior y obedeciendo á las simplificaciones establecidas se adopta como á superficie de junta

el plano que pasa por la cuerda de la hélice en sus puntos extremos, y la recta del paramento que concurre al foco inferior de juntas tal como es aquí la *S J'* el cual cortando al plano posterior *Q X* nos dará la plantilla de junta *J Q Z S*; la intersección de este plano con el posterior es fácil de encontrar desde el momento en que (*Q Q'*) es un punto de la intersección mientras que otro punto puede encontrarse valiéndonos de un plano secante auxiliar intermedio tal como por ejemplo puede ser el mismo de la cara de cabeza pues este cortará al vertical *Z Q* según la vertical que se proyecta horizontalmente en 6 y en proyección vertical en 6 γ y al dicho plano de junta le corta según la ya referida *S J'* la cual prolongada cortará á su vez á la vertical 6 γ en el punto *Y* el cual siendo ya un punto de la intersección no habrá más que unirlo con *Q'* y aprovechar de esta línea la parte *Q' Z'* que realmente interesa á la piedra.

Aquí como en la labra anterior sucederá que este plano de junta cortará al cilindro de intrados según una curva elíptica *J Q* casi confundiéndose con la hélice que va á sustituir, y cuyos puntos encontraríamos valiéndonos de secciones intermedias paralelas á los paramentos conforme hemos hecho otras veces.

Tenemos pues plantillas en verdadera magnitud en el paramento anterior, la vertical posterior que puede deducirse en el plano de la sección recta, la de junta que podemos encontrar por medio de un rebatimiento y que no hacemos en este caso porque repetiríamos operaciones ya hechas en casos anteriores y finalmente plantillas horizontales de asiento superior é inferior y desarrollo del intrados, y con estos datos puede procederse al labrado de la piedra que indica la (Fig. 194ʺʹ), pueden partir las operaciones de esta labra del plano de asiento superior colocando en él inmediatamente la plantilla *U S' Z X U'* deducida en verdadera magnitud en el plano horizontal. Por las rectas *U S'*, *X Z* haremos pasar dos planos verticales y en ellos colocaremos las plantillas *U S' J' A' δ U'''* del paramento anterior y la *X Z Q'' δ'' X'* correspondiente al paramento posterior ó sea de la sección recta; entonces por medio de las rectas *J' S'*, *S' Z*, *Z Q''* podemos labrar ya el plano de junta y en él colocar la plantilla *J' S' Z Q''* y con esto el cilindro de intrados de esta pieza está ya limitado por las curvas *J' Q''*, *J' A'* y la generatriz de arranque *A' Q''*, desvástese pues la piedra y valiéndonos de generatri-

ces y puntos de marca en estas dos curvas, ellas nos irán indicando, las generatrices situadas en el justo límite de la superficie cilíndrica.

359. Cuando se emplean sillarejos éstos son en general de forma de paralepipedos rectángulares colocados entre las hélices dibujadas en las cimbras, cuyo dibujo ó señalamiento se hace con suma facilidad por medio de reglas flexibles que se adaptan á la superficie cilíndrica en los puntos extremos en que ha de pasar la hélice pudiéndose ésta marcar desde luego. Esta es precisamente la ventaja que lleva el sistema helizoidal al ortogonal, puesto que en este último las trayectorias han de trazarse por puntos intermedios ó valiéndose de sus ecuaciones.

Aparejo Ortogonal Convergente

360. Fundamentos.—Dos han sido las causas principales que han motivado este aparejo. La primera: Cuando una imperiosa necesidad ha exigido que los dos paramentos del puente ó sus caras de cabeza, no fuesen paralelas siendo por el contrario dos planos más ó menos convergentes.

Segundo: El caso que la longitud del puente sea muy considerable, en cuyo concepto el sistema ortogonal paralelo presentaría mucha dificultad y excesivo gasto. Entonces para orillar estas dificultades se divide la longitud del paso en tres partes, una central, y otras dos extremas. La primera mucho mayor que las otras dos, aparejada simplemente como un cañón seguido recto, esto es, según las líneas de máxima y mínima curvatura y las segundas de una profundidad suficiente para con respecto á los paramentos; para que sea suficiente de precaver el empuje en falso.

Fué Mr. Lefort quien hizo la primera aplicación de este aparejo en un túnel de trazo curvilíneo terminado por dos paramentos en esbiage y en un trecho del ferrocarril de Versalles.

La (Fig. ω.) muestra un ejemplo de aparejo en la disposición á que nos referimos, esto es, acomodando al sistema convergente las partes extremas y dejando la central como un cilindro recto. Más adelante se aplicó (Fig. ω') á dichas partes extremas el sistema helizoidal dando también excelente resultado; todo estriba en estas circunstancias en la buena

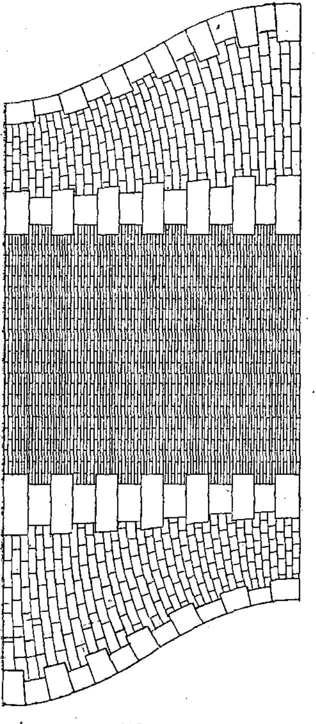


Fig. ω

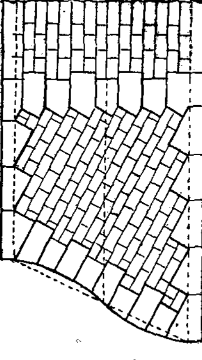


Fig. ω'

disposición de las piedras que establecen el enlace entre el aparejo convergente y el cañón seguido recto.

361. Resolución. — *Trazado de las trayectorias.* Tres son los procedimientos empleados para el trazado de las trayectorias 1.° Método geométrico valiéndose de los planos tangentes y normales combinados. 2.° Método de Mr. Picard y 3.° Valiéndose de los procedimientos analíticos, recurriendo á las ecuaciones y fórmulas que sobre el particular ha desarrollado Mr. Lefort. Los pasaremos en revista por su debido orden.

Primer procedimiento: Véase (Lám. 23, Fig. 179) en la cual representa el puente comprendido entre los planos verticales convergentes AB, IJ los cuales suficientemente prolongados se cortan en la vertical proyectada en ω. Si ahora concebimos una serie de planos verticales que todos concurran pasando por la vertical de ω y que corten al cilindro de la bóveda en las secciones CD, EF, GH... etc , empezando ellas en la cara de paramento y concluyendo la última en la sección recta IJ; entonces estas líneas son las que se adoptan como á líneas de junta discontinuas, mientras que las referentes á las continuas quedarán definidas por aquellas tales como a'' k'' l'' m'', que

situada sobre dicho cilindro vaya cortando normalmente á las primeras convergentes en ω.

El trazado puede hacerse ya directamente en la proyección ó ya también en el desarrollo. Para lo primero supongamos que (a^h, a^v) es el punto situado en el arco de cabeza y desde el cual ha de partir la trayectoria. Es evidente que si por dicho punto se traza un plano *P* normal á la tangente al arco de cabeza; este plano cortará al cilindro (considerándolo comprendido en una zona estrecha de las convergencias como *A B D C)* en una pequeña curva a^h *k* que podrá considerarse como cortando en ángulo recto al arco *A B*. Si luego por el punto *k* en donde este elemento de curva corta á la *C D* hacemos la misma operación valiéndonos de un plano *P'* normal á la tangente de la sección *C D* en el punto *k* obtendremos un segundo elemento *k l* que cortará en ángulo recto á dicha sección *C D*. Repitiendo la misma operación para el punto *l* y sección *E F* llegaremos al tercer elemento *l m* que corta en ángulo recto á la línea *E F* y así sucesivamente de modo que unidos por un trazo continuo todos estos elementos nos darán la trayectoria en cuestión.

Para llevar á cabo todas estas operaciones observaremos que la tangente al arco de cabeza *A B* en el punto (a^v a^h) está proyectada según (a^v *r'*, a^h *r*) y por lo tanto una generatriz vertical del plano *P* perpendicular á aquella tangente será evidentemente (a^v *o'*, a^h *b)* cuya traza es *b*, luego la recta *P* perpendicular á la proyección horizontal de la tangente, será la traza horizontal del plano normal en el punto *a*. Si encontramos ahora la intersección de este plano con el secante *C D*, ésta será *c' d'* porque *(c, c')* es la intersección de las trazas horizontales y (*d*, *d'*) es la intersección del plano *C D* con la horizontal (a^h *d*, a^v *d'*) que está contenida en el plano *P*.

Resulta ahora que siendo (*k*, *k'*) el punto de intersección del arco *C D* con la recta (*c d*, *c' d'*), lo será también de la intersección del plano *P* con el arco *C D*.

Tracemos ahora por el punto *k* otro plano perpendicular á la tangente (*k s*, *k' s'*) á la sección *C D;* nos valdremos del mismo modo como anteriormente, de la generatriz vertical (*k' O'*, *k e*) del nuevo plano *P'* y determinado éste; su traza horizontal cortará en *f* á la traza horizontal del plano *E F*, así como su horizontal (*d g*, *d' g'*) cortará en (*g g'*) al propio plano *E F*, siendo por lo tanto *g' f'* la recta de intersección

común, ésta nos dará como antes el punto (*l*, *l'*) de encuentro de la sección convergente *E F* con *P'*. Insiguiendo análogas construcciones, por (*l*, *l'*) trazaremos otro plano *P"* perpendicular á la curva *E F* hallando como siempre el punto (*m*, *m'*) de intersección del plano *P"* con la sección proyectada en *G H*. De modo, que prolongando esta serie de operaciones hasta haber tomado en consideración todos los planos ó secciones convergentes que se hayan elegido pasando por el punto ω, habremos ido señalando una serie de puntos a^h, *k*, *l*, *m*... etc., que dos á dos comprenden elementos de la trayectoria y que todos, unidos por un trazo continuo, nos determinan dicha curva.

Una vez obtenida la trayectoria en proyecciones, puede desde luego trasladársela en el desarrollo del cilindro en donde aparecerá como á transformada de aquélla, cortando también en ángulo recto á las transformadas de las secciones convergentes.

362. Mas ya hemos indicado que si por la inversa se quiere trazar primero, la trayectoria en el desarrollo para luego trasladarla en las proyecciones, los procedimientos serían los mismos que los antes empleados aunque inversos pues todas estas operaciones se fundan en idénticos principios. Así, si nos proponemos (Fig. 179) el trazo de la trayectoria que parte del punto *a"* en el desarrollo, una vez ya se tengan las sinuosoides *D' C*, *F' E'*, *H' G'*... etc.; quedará la operación concretada al trazado por partes de los distintos elementos *a" k"*, *k" l"*, *l" m"*... etc., respectivamente normales á las tangentes *a" r"*, *k" s"*, *l" v"*... etc., á las sinuosoides de que se trata en los puntos *a"*, *k"*, *l"*, *m"*... etc... cuyas tangentes son fáciles de fijar en estos desarrollos, si se observa que vienen formando la hipotenusa de un triángulo rectángulo en donde uno de los catetos será igual á la proyección vertical de la misma y el otro cateto representará la separación del punto más bajo de esta tangente á la sección recta que pasa por el punto de tangencia. De modo que en *a"* la tangente será *a" r"* hipotenusa del triángulo *a" t' r"* cuyos catetos son el $a'' t' = a^v r'$ y el otro $r'' t' = r\ t$; determinada *a" r"*, trácesele la perpendicular *a" k"* y ésta será el primer elemento. Repítase la operación para el punto *k"* y se tendrá la segunda tangente *k" l"* y con ella el segundo elemento *k" l"*, y así sucesivamente hasta obtener todos los demás, los cuales se unirán por un trazo

continuo y la línea que así resulte será la trayectoria de las secciones convergentes; trasladándolas luego sobre las proyecciones.

363. 2.° **Procedimiento.**—Consiste en sustituir en el desarrollo del cilindro, la sinuosoides de las caras de paramento por sus cuerdas, trazando enseguida las trayectorias por medio de arcos de circunferencia cuyo centro común sea el punto de intersección de las dos mencionadas cuerdas. En nuestro caso de la Fig. 179, la trayectoria que pasa por α es el arco de círculo $\alpha\ \beta\ \gamma\ \delta\ \mu$ cuyo centro es el punto ψ donde se cortan la cuerda $A'\ B'$ y la $J'\ I'$ puesto que esta última se confunde con la sección recta. Esta solución aproximada, que viene á ser para con respecto á las bóvedas á caras convergentes tan ventajosa como lo fué el aparejo helizoidal para las que terminan con paramentos paralelos; se ha practicado en no pocas ocasiones, demostrando los hechos ser de excelente resultado y de una bastante exactitud dentro los límites puramente prácticos.

En estas condiciones, se colige que son en extremo fáciles y breves los trabajos inherentes al proyecto del puente así como también la ejecución del mismo, por simplificarse la construcción desde el momento que pueden emplearse materiales ordinarios de forma paralepípeda siendo constante la altura de las hiladas. El conocido ingeniero de puentes y calzadas Mr. Picard, autor de semejante y beneficiosa solución, la aplicó con éxito y por vez primera en el puente de Koeurs

364. 3 er **Procedimiento.**—Mr. Lefort célebre ingeniero y no menos notable matemático, ha dedicado gran parte de su vida profesional en el estudio detenido del problema de los puentes oblicuos, siendo uno de tantos trabajos que nos ha legado su laboriosa tarea, la expresión analítica de las trayectorias en todos los casos que ocurrir puedan en tan árduo problema. Expondremos tan solo lo más indispensable.

Ecuación general de las trayectorias en el desarrollo. (Fig. 195, Lám. 31). Se toma por eje de las y la recta $A\ y$ sobre la cual se desarrolla la sección recta y por eje de la x la recta $A\ x$ que ha servido de charnela para el desarrollo del cilindro de intrados. Convengamos ahora en llamar:

ω. El ángulo al centro referente á un punto cualquiera n del rebatimiento de la sección circular ó si se quiere de la porción de arco subtendido por este ángulo en el círculo cuyo radio sea la unidad

S. La porción $a''\ n$ de arco circular rebatido, ó si se quiere la porción $a''\ n'$ del arco circular desarrollado y que corresponde al ángulo ω.

r. El radio de la sección circular.

α. El ángulo que forma el plano de paramento con el plano de la sección recta.

β. El ángulo que forma el plano de una sección convergente cualquiera con el de la sección recta.

ψ. El ángulo que forma el plano de la sección circular con la sección recta.

c. La distancia $C\ R$ de la vertical (intersección del plano de paramento con el de la sección recta) al centro C de la sección recta considerada esta distancia en el plano horizontal de arranque.

Los ángulos ω se contarán en la sección circular rebatida y los arcos S sobre el arco de esta misma sección desarrollada á partir del punto a'' considerado como á origen.

Y como quiera que se trata de encontrar la ecuación de curvas que han de cumplir con el requisito de ir cortando en ángulo recto á las sinuosoides, empecemos determinando las ecuaciones de éstas. Sea pues determinar la ecuación del arco desarrollado de la sección convergente que forma el ángulo β con la sección recta. Según esto se tiene en la (Fig. 195).

$$x = m'\ p' = H\ q = M\ R + H\ L,$$

hallemos los valores de $M\ R$ y $H\ L$

$$M\ R = C\ R\ tang.\ \beta = c\ tang.\ \beta,$$

$$H\ L = M\ L\ tang.\ \beta = E\ F\ tang.\ \beta$$

pero $E\ F = E\ D\ cos\ \psi = E\ n.\ cos\ \omega.\ cos\ \psi = r\ cos\ \omega.\ cos\ \psi$

De donde se infiere $H\ L = r.\ cos\ \omega.\ cos\ \psi.\ tang.\ \beta$

Sustituyendo ahora los valores obtenidos para $H\ L$ y $M\ R$ en la expresión de x se tendrá

$$x = c\ tang.\ \beta + r.\ cos\ \omega\ cos\ \psi\ tang.\ \beta.\ (1).$$

Esta ecuación es, pues, la de una sinuosoide según la cual se desarrolla una sección cualquiera del cilindro; que haga un ángulo β con el plano de la sección recta. Con su auxilio

se podrá trazar dicha curva por puntos, dando distintos valores al ángulo ω y según ellos así serán los valores de x; teniendo en cuenta que para la otra coordenada tenemos la ecuación $S = r\ \omega$. con arreglo á la definición que hemos dado á S.

La ecuación de la sinuosoide correspondiente al arco de paramento, como está regulada según el ángulo α. se infiere podrá deducirse de la ecuación (1) con solo en ella hacer $\beta = \alpha$ y así será

$$x = c \ tang.\ \alpha + r.\ cos\ \omega.\ cos\ \psi\ tang.\ \alpha \quad (2)$$
$$S = r\ \omega$$

La ecuación de la sinuosoide de la sección circular, la obtendremos haciendo en la ecuación general (1) $\beta = \psi$ y será

$$x = c\ tang.\ \psi + r.\ cos\ \omega\ sen\ \psi \quad (3)$$
$$S = r\ \omega$$

Designemos ahora por φ el ángulo que forma con el eje de las y' la tangente en un punto cualquiera m' del arco desarrollado de una sección convergente haciendo el ángulo β con la sección recta, tendremos:

$tang.\ \varphi = -\dfrac{d\ x}{d\ y}$ son aquí x, y, las coordenadas del punto m' que pertenece al arco de la sección convergente desarrollada.

Pero la ecuación (1) perteneciendo al arco de la sección convergente que consideramos, nos da diferenciándola en x y ω

$$d\ x = -\ r\ cos\ \psi\ tang.\ \beta\ sen\ \omega.\ d\ \omega$$

mientras que la sección circular nos da

$$d\ y = \sqrt{d\ S^2 - d\ x^2}$$

Pero el valor de la coordenada $d\ y$, es el mismo para una sección cualquiera que para la circular, así pues por medio de las ecuaciones (3), (4) se deducirá

$$d\ y = r\ d\ \omega \sqrt{1 - sen^2\ \psi\ sen^2\ \omega} \qquad \text{de donde}$$

$$tang.\ \varphi = \frac{cos\ \psi\ tang.\ \beta\ sen\ \omega}{\sqrt{1 - sen^2\ \psi\ sen^2\ \omega}} \qquad (5)$$

Consideremos ahora el punto m' como perteneciendo á la trayectoria que ha de cortar en ángulo recto á la sinuosoide

correspondiente, y en su virtud se ha de expresar la condición de perpendicularidad, así es que si x, y, representan las coordenadas del punto m. que pertenece á la trayectoria. Tendremos

$$\frac{d\ x}{d\ y} = \frac{1}{tang.\ \varphi} \ \text{ó bien} \quad d\ x = \frac{d\ y}{tang.\ \varphi}$$

Cuya expresión es la ecuación diferencial de la trayectoria, en la cual sustituiremos el valor (5) de tang. φ. perteneciente al arco convergente desarrollado y al cual ha de cortar normalmente en el punto m' la trayectoria, y así será

$$d\ x = \frac{r\ (1 - sen^2\ \omega\ sen^2\ \psi)\ d\ \omega}{cos\ \psi\ tang.\ \beta\ sen\ \omega}$$

Si ahora eliminamos tang. β entre esta ecuación y la (1), tendremos una expresión general en la cual no particularizando la sección convergente ésta podrá ser cualquiera

$$x\ d\ x = \frac{r\ (1 - sen^2\ \omega\ sen^2\ \psi)\ (c + r\ cos\ \omega\ cos\ \psi)}{cos\ \psi\ sen\ \omega}\ d\ \omega \qquad \text{ó bien}$$

$$x\ d\ x = \frac{c\ r\ d\ \omega}{cos\ \psi\ sen\ \omega} - \frac{c\ r\ sen^2\ \psi}{cos\ \psi}\ sen\ \omega\ d\ \omega + \frac{r^2\ cos\ \omega\ d\ \omega}{sen\ \omega} - r^2\ sen^2\ \psi \times$$
$$cos\ \omega\ sen\ \omega\ d\ \omega$$

cuya integral es

$$\frac{x^2}{2} = \frac{c\ r}{cos\ \psi}\ L\ tang.\ \frac{1}{2}\ \omega + \frac{c\ r\ sen^2\ \psi}{cos\ \psi}\ cos\ \omega + r^2\ L\ sen\ \omega +$$
$$\frac{r^2\ sen^2\ \psi\ cos^2\ \omega}{2} + \text{Constante} \qquad (7)$$

en cuya expresión L significa logaritmos neperianos.

Ecuación la más general de las trayectorias ortogonales y á la cual se ha de acompañar la otra ecuación $S = r\ \omega$. para que nos suministre la otra coordenada.

365. 2.° **Caso.**—*La sección circular es el arco de paramento,* entonces bastará hacer $\psi = a$ en la fórmula general (7)

$$\frac{x^2}{2} = \frac{c\ r}{cos\ \alpha}\ L\ tang.\ \frac{1}{2}\ \omega + \frac{c\ r\ sen^2\ \alpha}{cos\ \alpha}\ cos\ \omega + r^2\ L\ sen\ \omega +$$
$$\frac{r^2\ sen^2\ \alpha\ cos^2\ \omega}{2} + \text{constante} \qquad (8)$$

Podemos convertir esta ecuación en otra cuya aplicación sea más fácil, determinando ante todo la constante, de modo que x se reduzca á cero, cuando la variable ω adquiera el valor tal como ω_0; al efecto despejemos C en la ecuación (8)

$$C = \frac{x^2}{2} - \frac{c\,r}{\cos\alpha}\,L\,tang.\,\frac{1}{2}\,\omega - \frac{c\,r\,sen^2\alpha}{\cos\alpha}\cos\omega - r^2\,L\,sen\,\omega - \frac{r^2\,sen^2\alpha\,\cos^2\omega}{2}$$

Para un valor de ω_0, x se reduce á O.

$$C = \frac{0}{2} - \frac{c\,r}{\cos\alpha}\,L\,tang.\,\frac{1}{2}\,\omega_0 - \frac{c\,r\,sen^2\alpha}{\cos\alpha}\cos\omega_0 - r^2\,L\,sen\,\omega_0 - \frac{r^2\,sen^2\alpha\,\cos^2\omega_0}{2}$$

Sustituyendo el valor de la constante en la ecuación (8), tendremos el valor de la integral definida entre los límites pedidos

$$\frac{x^2}{2} = \frac{c\,r}{\cos\alpha}\,L\,tang.\,\frac{1}{2}\,\omega + \frac{c\,r\,sen^2\alpha}{\cos\alpha}\cos\tilde{\omega} + r^2\,L\,sen\,\omega + \frac{r^2\,sen^2\alpha}{2}\cos^2\omega - \frac{c\,r}{\cos\alpha}\,L\,tang.\,\frac{1}{2}\,\omega_0 - \frac{c\,r\,sen^2\alpha}{\cos\alpha}\cos\omega_0 - r^2\,L\,sen\,\omega_0 - \frac{r^2\,sen^2\alpha}{2}\cos^2\omega_0 = \frac{c\,r}{\cos\alpha}\left[L\,tang.\,\frac{1}{2}\,\omega - L\,tang.\,\frac{1}{2}\,\omega_0\right] + \frac{c\,r\,sen^2\alpha}{\cos\alpha}(\cos\omega - \cos\omega_0) + r^2[L\,sen\,\omega - L\,sen\,\omega_0] + \frac{r^2\,sen^2\alpha}{2} \times (\cos^2\omega - \cos^2\omega_0)$$

Recordando que el logaritmo de un cociente es igual al del numerador menos el del denominador y recíprocamente; será

$$\frac{x^2}{2} = \frac{c\,r}{\cos\alpha}\,L\left(\frac{tang.\,\frac{1}{2}\,\omega}{tang.\,\frac{1}{2}\,\omega_0}\right) + r^2\,L\left(\frac{sen\,\omega}{sen\,\omega_0}\right) + \frac{c}{\cos\alpha}\,r\,sen^2\alpha\,(\cos\omega - \cos\omega_0) + \frac{r\,sen^2\alpha}{2}\,r\,(\cos\omega + \cos\omega_0)(\cos\omega - \cos\omega_0)$$

Quitando el denominador del primer miembro y simplificando se convertirá en

$$x^2 = L\left(\frac{tang.\,\frac{1}{2}\,\omega}{tang.\,\frac{1}{2}\,\omega_0}\right)^{\frac{2\,c\,r}{\cos\alpha}} + L\left(\frac{sen\,\omega}{sen\,\omega_0}\right)^{2\,r^2} + \left[\frac{2\,c}{\cos\alpha} + r\,(\cos\omega + \cos\omega_0)\right] r\,sen^2\alpha \times (\cos\omega - \cos\omega_0)$$

Finalmente como el logaritmo de un producto es igual á la suma de los logaritmos de los factores se tendrá

$$x^2 = L\left[\left(\frac{tang.\,\frac{1}{2}\,\omega}{tang.\,\frac{1}{2}\,\omega_0}\right)^{\frac{2\,c\,r}{\cos\alpha}} \times \left(\frac{sen\,\omega}{sen\,\omega_0}\right)^{2\,r^2}\right] + \left[\frac{2\,c}{\cos\alpha} + (\cos\omega + \cos\omega_0)\,r\right] r\,sen^2\alpha\,(\cos\omega - \cos\omega_0) \quad (9)$$

Ecuación que puede ponerse, aun bajo otra forma, introduciendo los logaritmos ordinarios, recordando que $L \cdot 10 = 2{,}302585$.

$$x^2 = 2\,r^2 \times 2.302585\left[\frac{c}{r\cos\alpha}\,log.\,tang.\,\frac{1}{2}\,\omega + log.\,sen\,\omega - \left(\frac{c}{r\cos\alpha}\,log.\,tang.\,\frac{1}{2}\,\omega_0 + log.\,sen\,\omega_0\right)\right] + r\,sen^2\alpha\,(\cos\omega - \cos\omega_0)\left[\frac{2\,c}{\cos\alpha} + r\,(\cos\omega + \cos\omega_0)\right] \quad (10)$$

á cuya ecuación es necesario acompañar como siempre la de $S = r\,\omega$.

Para hacer uso de estas ecuaciones se empezará dando á ω el valor ω_0; Fig. 196 ω_0 = ángulo $m\,n\,a$ tomado sobre el rebatimiento del arco de paramento que en nuestro caso es la sección circular y sobre la cual se cuentan los valores de ω según ya expresamos al definirla; inmediatamente por el punto m del arco de cabeza desarrollado y correspondiente á este valor de ω (punto m que se obtiene colocando sobre dicha sinuosoide á partir del origen a un valor $S = r\,\omega_0$ = arco $a\,m$. Trácese luego la generatriz $m\,q$ paralela á la charnela $x\,a\,x'$, y el punto q, en donde está esta recta corta á la recta que representa el desarrollo de la sección recta, será el punto de la trayectoria por el cual se tendrá $x = o$, esto es el punto en que esta corta al eje de las x.

Si tomamos ahora para ω, el valor $m' \, n \, a$ sobre la sección de cabeza rebatida, y con arreglo á él determinamos el punto m' en la sinuosoide, tomando sobre ella y á partir de a el valor $S = r\,\omega$. Podremos trazar desde m' la $m' \, q'$, y sobre ella colocaremos el valor que resulte en la ecuación (10) al dar á ω el valor que le corresponde el punto que así resulte pertenecerá á la trayectoria y análogamente siguiendo encontraremos los demás puntos por los cuales pasará la curva.

366. Tercer caso.—*La sección circular es la misma sección recta*; en cuyo caso podemos deducir la ecuación que le corresponde, haciendo $\psi = o$, en la fórmula general, (7). y así será:

$$\frac{x^2}{2} = c\, r\, L\, tang.\, \frac{1}{2}\,\omega + r^2\, L\, sen\, \omega + \text{constante}$$ ó también

determinando el valor de la constante para cuando $x = o$, cuando de ω se convierte en ω_0.

$$x^2 = 2\, r^2\, L \left[\left(\frac{tang.\, \frac{1}{2}\,\omega}{tang.\, \frac{1}{2}\,\omega_0} \right)^{\frac{c}{r}} \left(\frac{sen\ \omega}{sen\ \omega_0} \right) \right]$$

ó introduciendo los logaritmos ordinarios en que $L \cdot l\, o =$ 2,302585

$$x^2 = 2\, r^2 \times 2.302585 \left[\frac{c}{r} \left(log.\, tang.\, \frac{1}{2}\,\omega - log.\, tang.\, \frac{1}{2}\,\omega_0 \right) + log.\, sen\,\omega - log.\, sen\,\omega_0 \right]$$

la cual unida con la ecuación $S = r\,\omega$, nos proporcionará las coordenadas de la trayectoria en este caso.

Fig. 197. Las ω se contarán ahora sobre la sección recta rebatida, tomando $\omega_0 = m\, n\, A^a$; el punto m se trasladará ahora sobre el desarrollo de esta sección circular, tomando sobre ella la distancia $A\, m = y = S = r\,\omega =$ arco $A\, m$ de la sección recta; éste será el punto en que $x = o$, esto es, en que la trayectoria corta al eje de las y. Dando luego valores á ω tal como el ángulo $m'\, n\, A$, éste de la sección rebatida, se trasladará sobre el desarrollo en $A\, m'$, levántase sobre m' la ordenada, sobre la cual tomaremos el valor que haya suministrado la ecuación para el valor correspondiente de $\omega = m'\, n\, A$. El punto obtenido pertenecerá á la trayectora y así los demás puntos.

367. Ecuaciones en el aparejo ortogonal.—*Caso general.* Al objeto de facilidar las operaciones en lugar de tomar las coordenadas $y \cdot x$ sobre los ejes $A\ y$, $A\ x$ (Fig. 195) conforme se han tenido en cuenta en el aparejo convergente, las tomaremos ahora sobre las líneas $a\, y'$, $a\, x'$. Según esto x', y' representarán coordenadas sobre los nuevos ejes y x, y serán las correspondientes á las antiguas y de sus relaciones respectivas podremos inferir

$$x' = v\, t' \qquad y' = y = a\, v = A\, p'$$
$$x = p'\, t'$$

$$p'\, t' + v\, t' = a\, A = (C\, R + R\, A)\, tang.\, \alpha = (C\, R + E\, N).$$
$$tang.\, \alpha = (C\, R + E\, a''\, cos\, \psi)\, tang.\, \alpha = (c + r\, cos\, \psi)\, tang.\, \alpha$$

de donde

$$x + x' = (c + r\, cos\, \psi)\, tang.\, \alpha\, (a)$$

Ecuación por medio de la cual podemos transformar las coordenadas de uno á otro sistema.

Despejando el valor de x en la ecuación (a) y sustituyéndolo en la expresión general (7), y teniendo en cuenta que en el presente caso el punto de convergencia está al infinito, ó lo que es lo mismo que las secciones son paralelas á la cara de paramento, condición que se expresa poniendo $\beta = \alpha$, se obtendrá para la ecuación de la sinuosoide ó toda otra sección paralela á ella.

$$x' = r\, tang.\, \alpha\, cos\, \psi\, (1 - cos\, \omega) \qquad (b)$$

Para la ecuación de la trayectoria razonaremos como en el párrafo teniendo empero en cuenta que aquí las x' se cuentan en sentido opuesto de las x, y así vendremos á obtener la ecuación deferencial.

$$d\, x' = - \frac{r\,(1 - sen^2\, \psi\, sen^2\, \omega)}{cos\, \psi\, tang.\, \alpha\, sen\, \omega}\, d\, \omega.$$

$$d\, x' = - \frac{r\, d\, \omega}{cos\, \psi\, tang.\, \alpha\, sen\, \omega} + \frac{r\, sen^2\, \psi\, sen\, \omega}{cos\, \psi\, tang.\, \alpha}\, d\, \omega.$$ cuya integral es

$$x' = - \frac{r}{cos\, \psi\, tang.\, \alpha}.\, L\, tang.\, \frac{1}{2}\,\omega - \frac{r\, sen^2\, \psi}{cos\, \psi\, tang.\, \alpha}\, cos\, \omega +$$ constante. (c)

De estas dos ecuaciones (b) y (c) que son las expresiones más generales de las sinuosoides y trayectoria en el sistema ortogonal paralelo; pueden deducirse las que corresponden á los dos casos particulares según la sección circular esté situada en los planos de paramento ó en la sección rectas.

368. Primer caso. La sección circular está en la cara de paramento.—Entonces no hay más que hacer $\psi = \alpha$ en las expresiones (b) y (c), y tendremos

$$x' = r\ sen.\alpha\ (1 - cos\ \omega).\ (d) \quad x' = -\frac{r}{sen\ \alpha} L\ tang.\ \frac{1}{2}\ \omega - r\ sen\ \alpha\ cos\ \omega + \text{constante}.\ (e)$$

(Fig. 198). Fijémonos ahora que todos los puntos de una misma generatriz corresponden á un mismo valor de ω, más como los valores de x', para un mismo valor de ω no se diferencian sino en la constante, de aquí se infiere que dos trayectorias cualesquiera interceptan longitudes iguales sobre todas las generatrices, así es que... $m\ r = k\ k''$ resultando:

1.° Que $r\ K$= á la curva $m\ K''$, $a\ K$= á la sinuosoide $a\ K''$

2.° Que todas las trayectorias serán iguales; así una trayectoria cualquiera tal como $m\ K''$ aplicada sobre otra tal como $r\ K$ se superpondrían perfectamente confundiéndose en toda su longitud indefinida.

3.° Que una vez construída una, pueden construire las otras con el auxilio de un patrón cortado sobre la primera.

4.° Que sobre una misma generatriz todas las tangentes á las secciones paralelas á los paramentos, serán paralelas entre sí, sucediendo por lo tanto lo mismo con respecto á las trayectorias; así la tangente en m_1 es paralela á las tangentes en los puntos $r, l, m',$... etc., en donde la generatriz $m\ m'$ encuentra á las sinuosoides.

En virtud de esta notable propiedad, bastará conocer solamente una de ellas para poder trazar rápidamente las otras, escogiendo al efecto aquella susceptible de ser traducida en la expresión analítica más fácil y sencilla con respecto al punto de partida. Mr. Lefort ha encontrado que este punto de partida es precisamente el culminante del arco de cabeza y que obedece al valor de $\omega = 90.°$

La ecuación (b), nos da para la ordenada x' para dicho punto considerado en el arco de paramento

$$x' = r\ sen\ \alpha$$

Mientras que si en la ecuación (e) se hace $x' = r\ sen\ \alpha$, $\omega = 90°$ se obtendrá que la constante $= r\ sen\ \alpha$ así es pues si sustituímos en lugar de la constante su valor en la ecuación (e) tendremos la ecuación $x' = r\ sen\ \alpha\ (1 - cos\ \omega) - \frac{r}{sen\ \alpha} L\ tang.\ \frac{1}{2}\ \omega$ referente á la de la trayectoria pasando por el punto vértice del arco de cabeza desarrollado.

Pero como una ecuación de una sección cualquiera paralela á los paramentos será de la forma $x' = r\ sen\ \alpha\ (1 - cos\ \omega) + c'$, siendo c' la constante que separa dos secciones consecutivas, cuya separación ó distancia está considerada sobre una misma generatriz ú ordenada en el desarrollo, se inferirá que combinando estos dos valores de x' se obtendrán los puntos comunes á la trayectoria y á la sinuosoide expresándolo la siguiente ecuación

$$c' = -\frac{r}{sen\ \alpha} L\ tang.\ \frac{1}{2}\ \omega$$

De aquí concluye Mr. Lefort que si se cuentan las abscisas S sobre el arco de paramento desarrollado $a\ K\ b$ (que aquí es el circular de la bóveda) y las ordenadas x' á partir de cada uno de los puntos de la citada línea sinuosoide, las ecuaciones de la trayectoria pasando por el vértice K en el desarrollo del arco de paramento, serán con relación á estas coordenadas

$$S = r\ \omega, \qquad x' = -\frac{r}{sen\ \alpha} L\ tang.\ \frac{1}{2}\ \omega. \qquad (f)$$

Cuya ecuación (f) está reducida á su más fácil forma, en el caso de la sección circular en el paramento, y de ella puédense sacar varias propiedades de la trayectoria.

Cuando $\omega = o$, las ecuaciones precedentes dan $S = o$. $x = \infty$.

Dando á ω valores tales como ω = ángulo $m\ o\ a$, la ecuación (f) nos dará un cierto valor de $x' = m\ r$, correspondiente á la abscisa $S = m\ a$.

Cuando ω sea igual á 90° y $S = a\ m\ K$ entonces la ecuación (f) nos dará $x' = O$. Así vemos que el valor de las ordenadas x' crecen desde cero hasta al infinito á medida que el valor de ω vaya pasando desde los valores de 90° hasta cero. Se concluye de dichas propiedades que siendo infinita la or-

denada en el arranque que corresponde á $\omega = o$, la trayectoria tiene por asíntota el eje de las x' ó sea la generatriz de arranque $a\ x'$.

Para el cálculo de los valores de x', téngase en cuenta que los valores de ω, se toman referente á los ángulos centrales de la sección circular de paramento rebatida, y correspondiente dichos valores á las divisiones del arco en partes iguales para cuando se han demarcado el número de dovelas en el mismo; únicamente que las partes pueden ser más pequeñas, ó lo que es lo mismo fracciones de aquellas, cuando se trate de ordenadas próximas al arranque ó sea el eje de de las x', pues allí diferiendo en mayor cantidad las ordenadas consecutivas, hay necesidad para la debida exactitud de ser más próximas dichas ordenadas.

La trayectoria $K\ r\ t$ del punto culminante una vez trazada, se obtendrá toda otra trayectoria pasando por un punto tal como m, haciendo resbalar sobre la recta $a\ x'$, el patrón cortado según la forma $a\ K\ r\ t\ x'$, hasta que la curva $K\ r\ t$ pase por el punto m, y del mismo modo se dibujarán las demás trayectorias que pasen por los demás puntos de división del arco de paramento. Para con respecto del paramento opuesto servirá también el mismo patrón, con solo invirtiendo su disposición.

Hemos dicho en otro lugar que estas importantes propiedades no solamente tienen lugar en el desarrollo; sino que también persisten en las proyecciones, siendo susceptible de trazar las trayectorias por medio de un patrón cortado insiguiendo la trayectoria tipo, tanto en el plano vertical como en el horizontal; lo que vamos á verlo brevemente.

Proyección horizontal.—Según lo dicho, un punto r, colocado en el desarrollo y en la trayectoria del punto culminante, y que corresponda al punto m del arco de paramento rebatido y que tenga el valor de $\omega = m\ o\ a$, tendrá por coordenadas

$$S = r\,\omega = a\,m \qquad x' = -\frac{r}{sen\ \alpha} L\ tang.\ \frac{1}{2}\,\omega = m\,r$$

Tomemos ahora por eje de coordenadas de la proyección horizontal las líneas $a\ x'$, $a\ y$, entonces para el punto r' de la proyección horizontal

$$y = a\,q = p\,a.\ cos.\,\alpha = r\,(1 - cos\ \omega)\ cos\ \alpha$$

$$x' = p\,r' = m\,r = -\frac{r}{sen\ \alpha} L\ tang.\ \frac{1}{2}\,\omega$$

En estas dos ecuaciones vemos que obtendremos los valores de x', y, en función de ω y que los valores de x' serán precisamente los mismos que los antes obtenidos en el desarrollo. Cuando en dichas dos expresiones supongamos $\omega = o$, se tendrá $y = o$, $x' = \infty$.

Deduciéndose ya de aquí, que la proyección horizontal de la trayectoria ofrecerá la misma particularidad que su compañera del desarrollo, esto es que tendrá por asíntota el eje de las x', pudiéndose del mismo modo trazar todas las otras trayectorias de la proyección horizontal valiéndonos de un patrón cortado según la última definida, en atención á que lo mismo que en el desarrollo, los valores de, y, x', permanecen los mismos para un mismo valor de ω, esto es á lo largo de una misma generatriz.

Proyección vertical.—Tomemos aquí por ejes coordenados las rectas $a\ z$, $a\ u$ y así se tendrá

$$u = m'\,h = m\,p = r\ sen\ \omega \qquad (g)$$

$$z = a\,h = a\,p + p\,h = r\,(1 - cos\ \omega) + p\,h$$

$$p\,h = p\,r'\ sen\ \alpha = x'\ sen\ \alpha = -\,r\ L\ tang.\ \tfrac{1}{2}\,\omega$$

$$z = r\,(1 - cos\ \omega) - r\ L\ tang.\ \tfrac{1}{2}\,\omega. \qquad (h)$$

Las expresiones (g), (h) son las ecuaciones de la trayectoria en el plano vertical, demostrando la (h) que cuando $\omega = o$, se tendrá $z = \infty$, lo que indica que la proyección vertical de dicha línea tiene por asíntota el eje, $a\ z$. Puédese también trazar las demás trayectorias por medio de un patrón cortado según la trayectoria tipo que resbale á lo largo de la línea $a\ z$, pues que el valor ó valores de z es el mismo, para un mismo valor de ω, esto es, mientras que los puntos obedezcan á los de una misma generatriz.

369. La sección circular se confunde con la sección recta.—Entonces en las fórmulas generales el ángulo $\psi = o$, y las ecuaciones (b), (c), se convierten en

$$x' = r\ tang.\ \alpha\,(1 - cos\ \omega)$$

$$x' = -\frac{r}{tang.\ \alpha} L\ tang.\ \frac{1}{2}\,\omega + \text{constante}$$

Aquí como en el caso anterior, veríamos repitiendo iguales razonamientos que allí; como existe la trayectoria tipo que pasa por el vértice y que con arreglo á ella podremos valiéndonos de un patrón; encontrar las demás; su ecuación sería

$$x' = r \, tang. \, \alpha - \frac{r}{tang. \, \alpha} L \, tang. \frac{1}{2} \omega$$

Para la proyección horizontal las ecuaciones encontraríamos ser

$$y = r \, (1 - cos \, \omega) \qquad x' = - \frac{r}{tang. \, \alpha} L \, tang. \frac{1}{2} \omega$$

Y para la proyección vertical las

$$u = r \, sen \, \omega \qquad z = \frac{r \, (1 - cos \, \omega)}{cos \, \alpha} - r \, cos \, \alpha \, L \, tang. \frac{1}{2} \omega$$

Todas las trayectorias en las dos proyecciones, podrán trazarse por medio de patrón, repitiendo todo lo dicho en el caso anterior.

370. Disposición de juntas.—Ya se ha dicho en otro lugar que por lo general todas las piedras de embocadura son de cantería ó piedra labrada y de sillarejo ó ladrillo, el resto de la construcción intermedia entre los paramentos salvo los refuerzos escalonados situados en los arranques y sobre las impostas y conocidos por *Cremalleras*.

Así es que partiendo de este dato en la (Fig. 199, Lám. 32) en la que se representa la proyección horizontal del paso convergente $A \, B \, C \, D$; su proyección vertical en un plano paralelo al paramento $C \, D$ en la cual están representados los arcos elípticos de embocadura $C' \, S' \, D'$, $A' \, G \, B'$; luego la sección recta dada según la semicircunferencia $A'' \, S'' \, B''$ y finalmente el desarrollo $B_1 \, A_1 \, C_1 \, D_1$; divídase luego la sinuosoide $D_1 \, C_1$ y la sección rectificada $A_1 \, B_1$ en un número impar de partes iguales haciendo pasar por cada uno de los puntos de división una trayectoria cuales limitaremos alternativamente á distintas profundidades; esto es á los planos $P_1 \, P_1'$ para el paramento $C_1 \, D_1$, y en los $P \, P'$ en el paramento ó sección $A_1 \, B_1$. Así resultará cada piedra tal como $a \, b \, d \, c$ de mayor dimensión que sus laterales dejando sucesivamente unos entrantes y salientes que contribuirán al buen enlace y extensión de la fábrica intermedia.

Si alguna que otra vez alguna de las trayectorias que parten del punto de una sinuosoide tal como la que nace del punto 16 en $A_1 \, B_1$ suficientemente prolongada, viene á pasar por otro punto tal como 15 de la sección opuesta $C_1 \, D_1$ entonces estas especiales líneas se dejarán trazadas de parte á parte, más todas las demás podrán partir de los puntos de división de la sinuosoide $C_1 \, D_1$ y prolongadas hasta que encuentren á los planos $P \, P'$ de modo que no coincidiendo con otras divisiones opuestas dejarán indicadas ciertas irregularidades ó resaltos tales como indican las letras $r, r...$ etc. El ancho que determinan cada dos de estas líneas se divide en dos compartimentos, trazando intermedia otra trayectoria tal como $x \, z$ en la cual nos dará dos hiladas de una mitad de la anchura de la que corresponde á las dovelas de embocadura y será apropósito para el empleo del sillarejo. Otras veces el espacio que se ha dividido en dos mitades se reduce, dividiéndolo en más partes, trazando por lo tanto un número mayor de trayectorias entre las dos que comprenden la dovela de embocadura; teniendo esto lugar cuando se emplea la construcción de ladrillo.

Todas estas trayectorias así trazadas, servirán de líneas de junta continuas, mientras que las discontinuas serán las secciones producidas en la bóveda por los distintos planos verticales $P_2 \, P_2'$ concurrentes como todos en el punto O los que nos cortarán al cilindro según una serie de sinuosoides que aparecerán interrumpidas con razón de lo alternadas que han de ser y que exigen sus funciones Concluído el despiezo en el desarrollo procede colocar éste en el lugar que le corresponde en las proyecciones y así concretándonos tan solo á la piedra de embocadura $a \, b \, c \, d$ ésta vendrá, á tomar la disposición ($a' \, b' \, c' \, d'$, $a'' \, b'' \, c'' \, d''$). En cuanto á las superficies de junta continuas se conciben engendradas por el lugar geométrico de las normales al cilindro de intrados resbalando á lo largo de las directrices cuales son las trayectorias dándonos así superficies alabeadas y con respecto á las juntas discontinuas se admiten sencillamente los planos verticales que convergen hacia la vertical del punto O. Una piedra pues, cualquiera que ella sea quedará comprendida entre dos superficies alabeadas, dos planos anterior y posterior, la superficie cilíndrica de intrados y las superficies planas ó curvas del extrados, lo cual dependerá del modo como se quiera termine éste. Terminando así la piedra bien se comprende que las in-

tersecciones de las juntas alabeadas con sus planos de juntas alternadas han de ser líneas curvas, presentándose por lo tanto en esta disposición en las caras de paramento.

Mas teniendo en cuenta que en la práctica solo se construyen de piedra labrada las dovelas de embocadura cuales tienen una profundidad muy exigua comparada con la total del paso; se simplificará de un modo notable la construcción, sustituyendo las juntas alabeadas de las dovelas del arco de cabeza, por simples planos que pasen por las normales á dicha cabeza y por la cuerda que pasa por los puntos extremos de la porción de trayectoria correspondiente á la profundidad de la piedra escogida.

371. A este efecto y para que las operaciones puedan verificarse con más claridad, supongamos que las proyecciones se trasladen en la (Fig. 180, Lám. 23), en donde las proyecciones de la piedra están representadas en mayor escala.

P_1' a es la traza del plano de paramento y C c la traza horizontal del plano posterior de junta discontinua; (d b, d' b') (a c, a' c') son las proyecciones de las partes de trayectoria que corresponden á nuestra piedra, cuya forma de la misma en el paramento anterior es la que se ha combinado en el pentágono irregular f'' f' b' a' g' pues se termina por la parte superior por medio de un plano horizontal; téngase ahora en cuenta que la recta a' g' es normal al arco a' b' y que ella junto con la cuerda de la curva c a, c' a' determinará el plano de la junta superior. Para determinarla, bastará imaginar una recta que parta del punto g paralela á la cuerda citada y esta recta cortará en un punto i al plano vertical posterior P_1' infiriéndose de aquí que la unión de c' con el que así resulte i representará unida con c' la intersección del plano de junta con el de paramento posterior mencionado; y como esta junta corta al plano horizontal de extrados superior según la recta h g, h' g' de aquí resultará que habremos obtenido las proyecciones de la plantilla de junta según el cuadrilátero mixtilíneo c' a' g' h'; c a g h y se comprende que igualmente haríamos para con respecto al plano de junta inferior d b f e, d' b' f' e'.

Resta venir á buscar la verdadera magnitud de estas plantillas de junta, una de ellas, por ejemplo la superior la cual podemos hacer girar tomando como á charnela la horizontal h g hasta que vaya á colocarse en el plano horizontal e'' g'.

Para esto traslademos momentáneamente la charnela g h en g'' h'', teniendo en cuenta que el punto c gira perpendicularmente describiendo el camino c c'', colocándose definitivamente al concluir el movimiento en el punto c'' á una distancia de h'' igual á la verdadera magnitud de la recta del espacio, del mismo modo el punto a vendrá á situarse en a'', á una distáncia de g'' igual á g' a' y finalmente un punto intermedio m entre a y c girará para colocarse en m'' á una altura l'' m'' igual á la verdadera magnitud del radio de giro de modo que la unión de los tres puntos a'', m'', c'' nos dará la curva con que termina el total de la plantilla c'' h'' g'' a''.

Conviene observar que la curva últimamente obtenida, verdaderamente no es ya la trayectoria que habíamos considerado, sino una pequeña porción de elipse producida por la intersección del cilindro con el plano considerado, todo en virtud del modo como hemos llevado las operaciones al simplificarlas. Pero esta pequeña variante no significa error digno de tenerse en consideración toda vez que en los reducidos límites del espesor de la piedra, las porciones de trayectoria y elipse vienen casi á confundirse. En cuanto á la plantilla de la parte posterior e'' e' d' c' h' puede encontrarse fácilmente girando este plano vertical hasta que sea paralelo al de proyección del mismo nombre.

372. Labra—(Fig. 180', Lám. 23).—Se escoge un prisma cuya base e' d b a g e'' sea contorno aparente de toda la proyección vertical de la piedra y por altura ó profundidad el mayor espesor de la misma. En la base anterior, colóquese la plantilla α del paramento, sobre el plano horizontal superior la plantilla γ deducida de e f g h de la proyección horizontal, puesto que allí está en verdadera magnitud. Colocadas estas dos plantillas, los lados h c de una y h g' de la otra nos determinarán el plano de junta superior y una vez labrado se colocará la plantilla β. El lado de esta a' g'' y el f' g'' de la plantilla horizontal nos determinarán el plano vertical que hemos denominado C c de la parte posterior de la piedra; y labrado que sea colocaremos la plantilla δ que á su tiempo según ya habíamos indicado se había hallado su verdadera magnitud.

Ahora existen ya suficientes datos para el labrado del plano vertical que pasa por e' e'' f' f'', así como la terminación y colocación de la plantilla de junta inferior e' d b' f''. Resta

solamente labrar la superficie cilíndrica comprendida entre las cuatro curvas $d\ c$, $c\ a'$, $a'\ b'$, $b'\ d$, y esto lo lograremos fácilmente valiéndonos de generatrices que se apoyen sobre puntos de marca establecidos dos á dos en las curvas indicadas, y cuya disposición demuestra bastante la figura, siendo las operaciones idénticas á otras análogas de este caso y de las que nos hemos ocupado repetidas veces en las lecciones anteriores cuando procedíamos al labrado de superficies cilíndricas.

Aparejo parabólico

373. Fundamentos —Así como al objeto de simplificar los cálculos y la construcción se sustituyeron las trayectorias por líneas rectas en el desarrollo, en el sistema ortogonal paralelo, así también y con mayor razón era lógico se estudiaran las líneas más ventajosas que pudieran sustituir á dichas trayectorias en el sistema ortogonal convergente, en donde el problema se presenta aún con más dificultad que en el ortogonal paralelo. Ya hemos visto como condujo al sistema helizoidal el empleo de las líneas rectas en dicho sistema paralelo; ahora bien, para el convergente varios son los medios á que se ha recurrido y entre ellos uno de los que más ha prosperado es el del alemán Slefwick, que consiste en el empleo de parábolas normales á las curvas de cabeza y á la correspondiente á la sección recta y de aquí el sistema parabólico.

Propongámonos ante todo y para que se tenga una verdadera comprensión de la esencia del sistema, trazar por un punto de la sinuosoide de cabeza una parábola que cumpla con las condiciones impuestas, comparando luego esta curva con la trayectoria que parta del mismo punto.

Supongamos que en la (Fig. 196, Lám. 31) sea el punto M el situado en el desarrollo sobre la sinuosoide de cabeza y llamemos:

φ. El ángulo $M\ L'\ A$ que hace la tangente $M\ L'$ á la sinuosoide en el punto M con la sección recta $A\ B$ desarrollada.

x, y,. Las coordenadas de la parábola, siendo los ejes $A\ y$, $N\ x$ y N el origen de las mismas.

$x_1\ y_1$. La ordenada $M\ D$ del punto M del arco de la sinuosoide y la abscisa $N\ D$ del vértice de la parábola pasando por el punto M.

Así estos datos, la ecuación de la parábola referida á los ejes $N\ y$, $N\ x$, será

$$x^2 = 2\ p\ y.$$

La ecuación pues, de la parábola quedará completamente en disposición de poder aplicarse en el momento en que sustituyamos al parametro en función de los datos de la bóveda. Para esto en el punto M siendo las coordenadas $x_1\ y_1$ la ecuación será $x_1^2 = 2\ p\ y_1$ y de ella se deduce

$$2\ p = \frac{x_1^2}{y_1} \qquad (1)$$

Veamos pues ahora cuales son los valores que corresponden á $y_1\ x_1$ para el punto M y sustituyéndolos en la anterior ecuación obtendremos el valor de $2\ p$.

Al efecto si consideramos la recta $M\ E$ perperdicular á la tangente $M\ L'$ del arco de cabeza en el punto M, aquella será por precisión tangente á la parábola que pasa por el mismo punto, pues partiremos del supuesto que la línea parabólica ha de cortar normalmente á la sinuosoide en el propio punto M. Ahora bien recordando que la subtangentes $E\ D$ de la parábola ha de ser el doble de la abscisa del punto de contacto tendremos la siguiente igualdad:

$$y_1 = N\ D = \frac{E\ D}{2} \quad \text{pero} \quad E\ D = M\ D\ tg.\ \varphi = x_1\ tg.\ \varphi \quad \text{luego}$$

$$y_1 = \frac{x_1\ tg.\ \varphi}{2} \qquad (2)$$

En cuanto al valor de x_1, recordemos que la ordenada en el punto M ha de ser común á la parábola y á la sinuosoide y como á tal ha de satisfacer á la ecuación de esta última y según esto su valor vendrá determinado por

$$x_1 = c\ tang.\ \alpha + r\ sen\ \alpha\ cos\ \omega$$

Volviendo á la ecuación (1) y sustituyendo el valor de y_1 de la expresión (2) tendremos

$$2\ p = \frac{x_1^2}{y_1} = \frac{x_1^2}{\frac{x_1\ tg.\ \varphi}{2}} = \frac{2\ x_1}{tg.\ \varphi} \quad \text{sustituyendo á la } x_1 \text{ su valor}$$

resultará:

$$2\ p = \frac{2\ (c\ tang.\ \alpha + r\ sen\ \alpha\ cos\ \omega)}{tg.\ \varphi}$$

falta solamente en esta expresión sustituir por φ su valor, el cual conocemos ya por el párrafo (364) y expresión (5) cual es (considerando empero el caso actual en que la sección circular es la de cabeza)

$$tg.\ \varphi = \frac{sen\ \alpha\ sen\ \omega}{\sqrt{1 - sen^2\ \alpha\ sen\ \omega}}$$

y así será:

$$2\,p = \frac{2\sqrt{1 - sen^2\ \alpha\ sen^2\ \omega}\ (c\ tg.\ \alpha + r\ sen\ \alpha\ cos\ \omega)}{sen\ \alpha\ sen\ \omega}$$

Conocido ya el parámetro la ecuación de la parábola que parte del punto M con las condiciones del dato se convertirá definitivamente

$$x^2 = \frac{2\sqrt{1 - sen^2\ \alpha\ sen^2\ \omega}\ (c\ tg.\ \alpha + r\ sen\ \alpha\ cos\ \omega)}{sen\ \alpha\ sen\ \omega}\ y \qquad (3)$$

Dando á ω valores numéricos determinados sobre la sección de paramento rebatida, la ecuación dará la parábola que pasa por el punto de la sinuosoide que corresponde al valor de ω, siendo normal á dicha sinuosoide, de cabeza y á la sección recta.

En efecto el parámetro es constante para una misma parábola y por lo tanto obliga á que ω sea también constante; ω no varía sino de una á otra parábola y para una parábola cualquiera tal como $M\ N$ es preciso que el valor de ω corresponda á la generatriz que pasa por el punto M, en donde la parábola que se considera corta á la sinuosoide de cabeza.

Escogido que sea el valor de ω, ó sea el punto M el vértice de la parábola queda determinado fácilmente, pues que sabemos que la abscisa del punto M es igual á la mitad de la subtangente de dicho punto M esto es: $N\ D = \frac{E\ D}{2}$ mas como $E\ D$ se conoce por conocerse la inclinación φ de la tangente á la parábola pues es también la tangente á la trayectoria que pasa por M y su valor hemos visto mas arriba, es

$$tg.\ \varphi = \frac{sen\ \alpha\ sen\ \omega}{\sqrt{1 - sen^2\alpha\ sen^2\ \omega}},$$

se inferirá que en nuestro caso, dado que el valor de ω se co-

nociera, se conocerá y_1 por ser $y_1 = \frac{x_1\ tg.\ \varphi}{2}$, sustituyendo á $x_1\ tg.\ \varphi_1$ sus valores será

$$y_1 = \frac{(c\ tg.\ \alpha + r\ sen\ \alpha\ cos\ \omega)\ sen\ \alpha\ sen\ \omega}{\sqrt{1 - sen^2\ \alpha\ sen\ \omega}}$$

Concluimos de aquí que si dividimos la sinuosoide de cabeza en un número impar de partes iguales, para cada uno de estos puntos podemos construir una parábola, encontrando sus respectivos vértices sobre la sección recta rectificada, con solo trazar la tangente por el punto considerado, hallar luego la subtangente, la cual divide en dos partes iguales, el punto medio que resulte, será el vértice de la parábola de modo que tendremos vértices, ejes y dos tangentes para poder trazarla desde luego.

Si por todos los puntos de división de la sinuosoide transformada del arco de embocadura, se trazan la trayectoria y la parábola anteriormente descrita se podrá observar (Figura 200, Lám. 31) como estas dos líneas, cuando están próximas al arranque $A\ C$ discrepan algún tanto siendo su separación $Q\ q$ algo considerable y que á medida que el punto de partida P va aproximándose hacia el otro arranque la diferencia de las dos curvas disminuye y por lo tanto va disminuyendo la distancia $Q\ q$, la cual puede hasta pasar en sentido contrario $Q'\ q'$, cuando el punto P', alcance una posición tal, que las curvas corten á la sección recta en las inmediaciones de su centro á partir del cual las diferencias perseveran ya hacia la misma derecha aunque siendo de poca cantidad.

De estas observaciones se infiere que si bien no hay ningún inconveniente en que hacia la derecha de Q se sustituyan tal como resultan, las parábolas á las trayectorias, no conviene hacer otro tanto hacia la parte opuesta del propio punto Q en donde la diferencia entre las dos curvas es notable, conviniendo por lo tanto en referir el punto q en Q sin dejar empero de cumplir las nuevas parábolas la condición de normalidad hacia la sinuosoide por una parte y á la sección recta por otra si bien es verdad que sus vértices no situarán ya sosobre, dicha sección recta. Conviene pues determinar estas separaciones para tenerlas en cuenta. A este fin (Fig. 200). Supongamos que el punto P' junto con la trayectoria $P'\ Q'$ y la parábola $P'\ q'$ se les imprime un movimiento de modo que

P' vaya ascendiendo recorriendo todos los puntos de la sinuosoide. Es evidente entonces que podrá admitirse que cuando P' haya venido en P, el camino recorrido por dicho punto será proporcional al recorrido por el punto q' para con respecto Q' y en este caso claro está que determinando la separación $+ Q\,q$ para un punto próximo del arranque y la separación $- Q'\,q'$ correspondiente al centro Q', la cantidad $Q\,q + Q'\,q'$ será el camino recorrido de Q para pasar á Q' mientras P pasa á P' ó sea en recorrer la distancia $P\,P'$. De modo que si consideramos ahora la trayectoria que parte de un punto intermedio cualquiera tal como Q'' podriamos fácilmente calcular la distancia $q''\,Q''$ que separa dicha línea con la parábola por medio de la siguiente proposición

$$P\,P' : P'\,P'' :: Q\,q + Q'\,q' : s$$

ó bien

$$d = Q''\,q + Q'\,q' = \frac{(Q\,q + Q'\,q')\,P'\,P''}{P\,P'}$$

y por lo tanto

$$s = Q''\,q'' = \frac{(Q\,q + Q'\,q')\,P'\,P''}{P\,P'} - Q'\,q'$$

será la separación entre la trayectoria y parábola en la sección recta partiendo dichas curbas del punto P''.

Según esto vemos que para obtener el valor de estas diferencias es necesario obtener antes, dos de estos valores y con su auxilio aquéllas se determinarán rápidamente. Veamos pues como se pueden encontrar estas dos primeras diferencias, por ejemplo una de ellas la $Q\,q$. Escójase el punto Q que será una de las divisiones del arco de sección recta, el punto Q obedece á la generatriz $Q\,N$ correspondiente al ángulo ω_0 tomado sobre el arco circular de cabeza, ahora con el auxilio de la ecuación de la trayectoria iremos trazando esta curva por puntos, asignando valores á ω superiores á ω_0 y hallando valores correspondientes á x así la curva vendrá un momento que cortará á la sinuosoide en el punto P en el cual ω tendrá un valor especial por ejemplo ω_P. Obtenido el punto P por el cual ha de pasar la parábola, se tiene ya enseguida la tangente á la misma en dicho punto; por la expresión de $tang.\ \varphi = \frac{sen\ \alpha\ sen\ \omega}{\sqrt{1 - sen^2\alpha\ sen^2\omega}}$

y con ella la subtangente; divídanse éstas por mitad y el punto que resulte será el vértice de la parábola y por lo tanto la distancia que buscábamos será $Q\,q$. Solo quedará reducida la cuestión á trazar la parábola por q y P siendo tangente á las rectas $q\,m$, $P\,d$, lo mismo haremos con las demás.

La construcción de estas curvas una vez marcados ya los puntos de cruce de las mismas con la sinuosoide de cabeza y la sección recta desarrollada, es enseguida breve y fácil pudiéndose construir geométricamente partiendo de la propiedad de la parábola. *Dos tangentes trazadas á la parábola desde un mismo punto son cortadas por una tercer tangente en partes recíprocamente proporcionales.* En este concepto si nos proponemos trazar la parábola que parte del punto P nos valdremos de la normal á la sinuosoide y de la perpendicular á la sección recta en el punto que corresponde por el procedimiento que hemos indicado. Si ahora dividimos Fig. 200', Lám. 32, $q\,m$, $P\,m$, en un mismo número de partes iguales, la unión de estas partes que corresponden á la misma numeración nos dará una serie de tangentes intermedias *1-1*, *2-2*, *3-3*, las cuales cortándose sucesivamente nos irán indicando la serie de posiciones de dicha tangente que envuelvan la curva parabólica que podremos trazar desde luego.

En la (Fig. 201) se ha expresado el desarrollo del intrados, dejando en él alguna de las parábolas tales como las que tienen el vértice en la sección recta.

Esta operación ultimada, sólo resta trasladar este desarrollo en las proyecciones y por lo que se refiere á lo restante de la construcción puede reproducirse todo lo indicado para con respecto al sistema ortogonal convergente.

Aparejo Cicloidal

374. Además de los sistemas que hemos pasado en revista y que se consideran como los principales, han aparecido otros de más ó menos interés debidos todos y resultado de profundos estudios de ilustres autores que porfiaron con talento y fe digna de encomio, para venir á buscar nuevas soluciones que resolvieran si cabe con más ventaja de las hasta entonces conocidas, el difícil problema del puente oblicuo, bajo el punto de vista teóricamente exacto y que él á la

vez orillase las dificultades económicas y de construcción ó prácticas.

Merece especial mención entre todos ellos, por el ingenio y espíritu de investigación desarrollado el trabajo que Monsieur Hachette publicó allá por el año 1854 en los *Anales de Puentes* y *Calzadas* con el título de *Descripción de un nuevo sistema para la construcción de bóvedas oblicuas.*

Según la opinión del ilustre ingeniero, los sistemas anteriores adolecían de un común defecto, que era la complicación, la cual constituía una impedimenta para los simples obreros ó canteros que intervenir debían en los trabajos sin que por otra parte estos últimos se distinguieran por la precisión ordinaria de las teorías geométricas. A remediar estos inconvenientes, dice, que tiende el nuevo aparejo fruto de sus desvelos, aparejo que llama *cicloidal* y al que atribuye las siguientes ventajas que en realidad constituyen el objeto de sus conclusiones, cuales son:

1.° *Los dibujos, monteas y detalles quedan reducidos á su mayor simplicidad, operando fácil y brevemente.*

2.° *Puede hacerse caso omiso de las plantillas de junta.*

3.° *El sistema de labra es sumamente fácil y elemental, el intrados de la piedra se corta con el auxilio de la cara plana de cabeza, y las juntas partiendo del intrados.*

4.° *Ofrece las mejores condiciones de equilibrio, pues la bóveda oblicua en su conjunto se asimila á una serie no interrumpida de arcos rectos.*

375. La idea fundamental del sistema de Mr. Hachette consiste (Fig. 202, Lám. 33) en la transformación de un cilindro recto $A\ B\ C\ D$, de base circular $a'\ b'\ E\ F$, en un cilindro oblicuo $A\ B\ C'\ D'$ de la misma base y altura $A\ D$. A este efecto, supone al cilindro recto descompuesto en una serie de elementos formados por estrechos anillos iguales producidos por planos secantes $a\ b$, $c\ d$, $e\ f$,... etc. paralelos á las bases de dicho cilindro.

Concibe enseguida que todos los anillos; exceptuando el de la base que queda fija, y como considerándolos independientes moviéndose y rodando (permaneciendo paralelas á sus bases) sobre el plano horizontal trazado tangente á la generatriz ($g' - g\ g_1$) culminante del cilindro recto, hasta que los centros O_1, O'', O''', O^{IV}, etc., de dichos anillos se hayan trasladado y confundido con los O_2, ω'', ω''', ω^{IV},... etc. correspondientes al cilindro oblicuo situados sobre su respectivo eje, $g\ g_1'$.

Con estas operaciones la transformación queda efectuada y en este estado es cuando el autor trata de investigar en que van á transformarse en el cilindro oblicuo las generatrices del recto, así como también las líneas juntas del intrados que pasaban por los puntos que dividian en dovelas el arco de paramento, considerado como plano de cabeza de una bóveda recta.

376. Fijémonos en la generatriz culminante (E, $g\ g_1$) y veamos que posición toman todos sus puntos en los movimientos antedichos. En cuanto al punto (E, g) situado en la base anterior permanecerá inmóvil como ésta; pero si consideramos el de la base posterior (E_1, g_1) veremos que irá á trasladarse en E' habiendo descrito en su definido movimiento una cicloide $E\ m\ n\ p\ E'$. En efecto el círculo ($D\ C$, $a'\ F\ b'\ E$) en su movimiento de rodadura, de izquierda á derecha, permaneciendo siempre tangente á la recta ($E\ G$, $g_1\ g_1'$) lo ha tenido que hacer de modo que el punto móvil E' fuera bajando de nivel mientras que los elementos siguientes de la circunferencia han ido subiendo hasta tanto á permanecer tangentes sucesivamente y unos en pos de otros sobre la recta culminante $E\ G$ para luego descender como el primero, resultando así que cuando al final de este movimiento el círculo se haya trasladado en $G\ C''\ G'\ D''$, habrán coincidido tangencialmente en toda la longitud de la recta $E\ G$ una suma de elementos de esta circunferencia que rectificados igualarían dicha longitud rectilínea $G\ E$, infiriéndose de aquí si se han dispuesto los datos de modo que el intervalo $E\ G = O'\ O''$ contenga un número exacto de estas partes rectificadas (diez por ejemplo), entonces es evidente que cuando O' haya venido á colocarse en O'', el punto de contacto que ha tenido que recorrer caminos iguales en la circunferencia y su tangente, ocupará la décima división en las dos líneas, de modo que el primitivo punto E corresponderá en la posición del círculo O'', á la misma división E', distante de G diez divisiones de la circunferencia, contadas en el mismo sentido del movimiento. Así pues, se habrá verificado que el arco circular $G\ D''\ G'\ E'$ rectificado

será igual á la recta $E\,G$. Por lo tanto, resulta que si en la posición del círculo O'', queremos averiguar el lugar en donde ha ido á situarse el punto E, bastará la colocación de diez partes de $E\,G$ sobre la circunferencia de centro O'' y el punto E' así resultante se proyectará horizontalmente sobre $C'\,D'$ en E''. Del mismo modo se determinarían las nuevas posiciones de los puntos p, n, m... etc., que todos se proyectan verticalmente en E, sustituyendo la distancia $g_1\,g_1'$ las $p\,p_1$, $m\,m_1$, $n\,n_1$... etc., cuyas son las distancias de los centros respectivos de las bases posteriores de los dos cilindros según sean las alturas de los mismos que se escojan. La unión de todos estos puntos por un trazo continuo constituirá un lugar geométrico de las posiciones que habrán ido á tomar sobre el cilindro oblicuo todos los puntos que formaban parte de la generatriz (E, $g\,g_1$) del cilindro recto, siendo por lo tanto aquella la transformada de ésta). La proyección vertical es una cicloide, según hemos indicado, porque todos los puntos de la generatriz (E, $-g\,g_1$) se confunden en proyección vertical con el punto E; también se confunden con el círculo $E\,a'F\,b'$ todos los demás círculos paralelos á las bases y que cada uno contiene el punto que le corresponde de la misma generatriz; finalmente todas las rectas horizontales tangentes á cada uno de estos círculos también se confunde en una sola $E\,G$ en proyección vertical: luego si las proyecciones verticales de todas las líneas descritas por los puntos g, m_1, n_1, p_1... etc., de la generatriz $E\,G$, parten de un mismo punto y están sujetas á una misma ley de generación (prescindiendo de las distancias recorridas) es bien claro que las proyecciones se confundirán en una sola, cuya ley de movimiento obedece á las condiciones de la cicloide.

377. Esto ha dado motivo suficiente á tan esclarecido autor para añadir que la cicloide que así se obtiene, es la proyección vertical de la curva transformada de la generatriz escogida y que esta curva puede considerarse como producida por la intersección de dos cilindros horizontales, uno oblicuo de base circular y otro recto de base cicloidal, y que para cada generatriz del cilindro recto que quiera transformarse sobre el cilindro oblicuo, existe un nuevo cilindro para tomarse en consideración.

De aquí la designación por el autor, de espiral cicloidal á tan artificiosa curva que servirá de línea de junta longitudinal, así como la denominación de sistema cicloidal para designar el conjunto del mismo.

378. Las líneas de junta alternadas son en el sistema de que tratamos las secciones circulares producidas por planos paralelos á las cabezas y sirven del mismo modo estos planos para superficies de junta discontinua y en cuanto á las superficies de juntas continuas, vienen á ser las transformadas de las secciones meridianas del cilindro recto, habido en cuenta que los radios de las secciones rectas de este último obedecen del mismo modo al movimiento general. En este concepto la superficie de que se trata queda completamente definida diciendo que está engendrado por una recta que resbala por el eje del cilindro oblicuo, por la espiral cicloidal ó línea de junta, y además en todas sus posiciones se conserva paralela al plano de las bases del cilindro ó sean los paramentos del puente.

Si pues queremos obtener una generatriz en un punto cualquiera de la línea de junta, bastará no más, trazar por el mismo punto un plano paralelo á las caras de cabeza, buscando enseguida los puntos donde corta al eje del cilindro y á la línea de junta continua que se considere, y uniendo estos dos puntos la recta que así resulte será la generatriz.

Mediante todas estas anteriores indicaciones; el trazado del aparejo de una bóveda oblicua adoptando el sistema cicloidal se comprende fácilmente y no puede ofrecer dificultad ninguna por lo que nos limitaremos á ligeras y generales indicaciones.

379. (Fig. 203). $A\;B\;C\;D$ es la proyección horizontal del paso oblicuo $A'\,B'\,E$, $C'\,D'\,E'$ son las proyecciones verticales de las circunferencias de las bases, situadas en los planos verticales $A\,B$, $D\,C$.

Por $A\,B''$ se conduce la sección recta que queda rabatida en $A\,E''\,B''$, y tomando la $B\,D$ como á charnela para el desarrollo del cilindro, éste; efectuada dicha operación aparecerá desarrollado en la figura comprendida entre las rectas $D\,B$, $A''\,C''$ y las sinuosoides $B\,A''$, $D\,C$.

Antes de proceder á ulteriores operaciones es indispensable cerciorarnos de que la recta $O'\,O''$ (que representa en proyección vertical la separación de los centros de las bases posteriores de los cilindros recto y oblicuo, ó lo que es lo mismo

la proyección vertical del eje del cilindro oblicuo) sea conmensurable con la circunferencia de la base, resultando además igual la división de dovelas en los dos paramentos. Estos dos requisitos no es dable cumplirlos sinó mediante ciertos y detenidos y escogidos datos, valiéndose de tanteos, ya modificando ligeramente la oblicuidad ya también haciendo lo mismo para con respecto al radio de intrados. Hecha ya la división en un número impar de partes iguales en cada uno de los arcos de paramento, constrúyase por dichos puntos las líneas de junta ó espirales cicloidales que antes hemos señalado, las cuales se referirán en ambas proyecciones tal como es, por ejemplo una de ellas la (*a b c d e*... etc., *a' b' c' d' e'*... etc.) y concluídas que éstas sean se lleva cabo en el plano horizontal la distribución de los planos de junta alternados designándolos por ejemplo en *m n*, *p r*, *t q*... etc., cuales cortando el cilindro en secciones circulares alternadas podrán proyectarse con brevedad en el plano vertical en *m' n' p' r'*...etc. En cuanto al trasdos no se tiene en cuenta en el dibujo, pues queda sin labrar en este sistema, ó cuando más es solamente desvastado dejándolo ligeramente concluído con aproximación de la superficie con que termina dicha parte exterior.

380. Labra.—La labra especial de las piedras en este aparejo estriba precisamente en un aparato (Fig. 203') que se compone de un semicírculo *m' n' p' q'*... etc., dibujado en una hoja de palastro llevando soldada en el centro del mismo y completamente fija una varilla de hierro *O O'* la que ha de formar con el plano de dicho disco un ángulo igual al del esbiage, estando además situada en el plano que siendo perpendicular al del mismo disco, pase por el diámetro *m O*. Al mismo tiempo van marcados en el disco los radios *O m'*, *O n'*, *O p'*, *O q'*... etc.. que le dividen del mismo modo como lo está el arco de cabeza; entre cada dos de estas divisiones márquense también puntos intermedios que dividan en partes iguales las arcos respectivos. Hecho esto, perfórese la parte intermedia hasta dejarla en la forma del ánulo ó trapecio curvilíneo que afecta la figura de que se trata.

Se concibe ahora fácilmente que estando la varilla de hierro con respecto á la cara del disco en la misma disposición que lo está el eje del cilindro oblicuo, con respecto á las caras de paramento, si colocáramos el disco de manera que uno de sus radios coincidiera con el que tiene la misma inclinación

en la cara de paramento, coincidiendo también el centro del semicírculo con el punto de división correspondiente al arco de cabeza; entonces la varilla coincidiría con la generatriz que pasa por dicho punto; de modo que haciendo uso de dicho aparato en estas condiciones desde un punto á otro en donde empieza y termina el arco de base de una dovela cualquiera, tendríamos así un lugar geométrico de las generatrices del cilindro que pertenece á esta dovela y por lo tanto el labrado de su intrados (Fig. 203") una vez labrado éste se limitará colocando el desarrollo del trazo de cilindro que vá adjunto á la piedra, siendo enseguida muy fácil el labrado de la junta alabeada valiéndose de baiveles mixtilíneos (Figura 203^{IV} cortados según el ángulo $a\,c\,b = S'\,S\,T$ dado caso que hubiéramos escogido la piedra 6.ª de la (Fig. 203'). Al efecto se coloca el vaivel en la (Fig. 203") de modo que su ángulo entrante coincida con alguno de los puntos de la línea de junta dispo-niéndolo al mismo tiempo de modo que su plano sea parelelo al plano de la base *s p q* lo cual se consigue con otros puntos de marca en la línea de junta inferior, y que se combinan cada uno con su compañero de los establecidos en la línea superior; entonces en estas condiciones el lado *c a'* del baivel nos irá indicando las posiciones de la generatriz que en su lugar geométrico nos determinará la junta. El extrados ya se ha dicho que no se labra en este sistema.

Es evidente que obrando tal como se ha expresado para la formación de este lecho, las intersecciones de las superficies de junta con el paramento vendrán acusadas por líneas rectas que se confundirán con los radios del arco circular de cabeza, apareciendo según esto en el paramento formas bastante regulares para las dobelas por ser sus líneas de junta paramentales rectas que cortarían normalmente al arco de embocadura, si bien es verdad que en su conjunto, el lecho discreparía algún tanto de la normalidad para con respecto á la superficie de intrados.

De querer cumplir pues con la condición precisa de que el lecho fuese normal al intrados, claro está entonces que el baivel nos lo había de proporcionar la sección recta, apareciendo la junta en la embocadura según una línea curva *p s* conforme demuestra la (Fig. 203‴).

381. Si bien se examinan los resultados que en definitiva ha reportado semejante aparejo se podrá inferir que aunque

muy ingenioso, no responde sin embargo á las exigencias que de desear son en el problema de las bóvedas oblicuas. Las juntas continuas no son normales al intrados ni á las caras de paramento, las discontinuas si bien son paralelas al paramento no son tampoco normales al intrados, las líneas del despiezo se cortan en ángulos que no son rectos; las hiladas no tienen la misma anchura entre dos líneas de junta continuas conforme aparece en el sistema helizoidal que es una de tantas condiciones que le hace recomendable; finalmente el empuje en falso no queda subsanado.

Estas razones tan atendibles en el caso particular de que tratamos, hizo decir á un autor francés al emitir su opinión sobre el aparejo de Mr. Hachette "*Que el sistema Cicloidal no viene motivado, para que pueda servir con ventaja en la realización práctica de las bóvedas oblicuas, considerándolo como objeto de pura imaginación, bueno si, para que proporcione uno de tantos medios como puedan practicarse en sus ejercicios los alumnos de Geometría Descriptiva.*"

382. Modificación de detalle en todo puente oblicuo. Boca de campana.—Cuando en una Bóveda cilíndrica en esbiage es de medio punto, los dos ángulos agudos que aparecen, uno en cada una de las caras de cabeza son en extremo vulnerables, aumentando la fragilidad y siendo más delicadas las aristas vivas á medida que la oblicuidad va acentuándose. Con motivo de evitar tamaña dificultad es que se recurre á introducir ciertos derrames, que al robar el ángulo agudo dan más seguridad de resistencia con las nuevas superficies de que son objeto, pues éstas terminan ya la embocadura con ángulos bastante abiertos que facilitan masa suficiente para resistir cualquier contrariedad. Estos derrames especiales son los que se llaman *Bocas de campana* del puente.

Las hay de diversas clases y ellas dependen de la superficie de intrados que las termina; pero en general pueden estar clasificadas en tres clases: 1.ª, en superficie cilíndrica; 2.ª, en superficie cónica y 3.ª, en superficie alabeada de la clase de los conoides.

383. Primero en superficie cilíndrica: (Fig. 204, Lám. 34) *A K G J* es la planta del puente y de base, una semicircunferencia *A' M B'*, situada en el paramento anterior. Sustitúyese al ángulo agudo *K* del pie derecho, por el chaflan vertical *B D* perpendicular á la cara anterior, únase luego *D* con *A* y tómese en consideración el triángulo proyectado en *A B D*, entonces podremos concebir fácilmente el cilindro del puente limitado en el arco producido por su sección que le produce el plano vertical *A D*, adoptando luego este mismo arco como á directriz de un cilindro perpendicular á la cara de paramento, cilindro que se proyectarará horizontalmente en el mencionado triángulo *A B D* y en el plano vertical se proyectará según la misma circunferencia *A' M B'*. Este cilindro acordará perfectamente con el plano vertical *B D* del pie derecho.

Esta pequeña modificación no complicará mucho á la dovela, pues si consideramos un plano auxiliar, *C D* paralelo al paramento, en él podemos hacer un despiezo auxiliar de junta conforme lo expresado en el (número 268). Si al punto *c* le corresponde la junta *c' m* el plano que por esta recta pasa y la cuerda de la hélice de junta cortará al cilindro del dato según la curba *b c*, *b' c'* y luego seguirá cortando al cilindro de la nueva embocadura según otra elipse *a b*, *a' b'* y finalmente al paramento según la recta *a' n* paralela á la *c' m*, concluyéndose luego el contorno de la dovela según lo dicho en las explicaciones anteriores. Las generatrices del cilindro *A B D* para los debidos puntos de marca serán aquí en el derrame 1-1, 2-2, 3-3, ... etc., proyectándose verticalmente, según los puntos 1', 2', 3', ... etc.

384. Segundo. Superficie cónica.—(Fig. 204'). Establezcamos en la planta *A B I K* del puente una sección tal como la levantada en el plano vertical *D E* paralelo al de paramento; si luego trazamos la *E C* inclinada *E C B* = *E B C*, prolongándola hasta cortar en *V* al muro opuesto *A G*, entonces no habría ninguna dificultad en comprender como la sección producida *D' i E'* puede considerarse base ó directriz de un cono recto cuyo vértice está en *V*, viniendo á ser cortado dicho cono por el plano de paramento *A C* según otra circunferencia *A' h C'* que se proyectará verticalmente, concéntrica á la primera. La modificación, pues estriba en introducir la parte de superficie cónica proyectada horizontalmente en el trapecio *A C E D*. Las generatrices de este cono se podrán señalar fácilmente uniendo el vértice *V* con puntos 1, 2, 3, 4, ... etc., situados en la base anterior, aprovechando, no

más de estas generatrices las partes 1-1, 2-2, 3-3, ... etc., que se proyectarán horizontalmente en las trazas horizontales de los planos de base que los contienen.

Por lo demás, el resto es fácil de deducir; el cilindro del puente llegando hasta el arco *D E*, en el punto *a'* imaginaremos la línea *a' m*, como si fuese intersección de la junta con el plano auxiliar *D E*, este mismo plano cortará enseguida al cono según la curva (*a e*, *a' e'*) y finalmente, al paramento en la recta *e' j* paralela á la auxiliar *a' m*. Para todo lo demás se reproducirá lo dicho en los párrafos anteriores, representando, para mayor claridad, en la (Fig. 204''') una de las piedras ya labradas, la cual demuestra las variaciones que con esta modificación sufren las plantillas de junta *J* y la superficie de los intrados en los cuales se señalan varias generatrices del cono y del cilindro, cuales indican el modo de llevar el labrado.

Otras veces se prefiere como en la junta, *b' d'* cambiarla de dirección adoptándola perpendicular al plano de paramento, pero entonces si bien es verdad se simplifica la proyección vertical, en cambio se complica la labra de la piedra como indica la (Fig. 204^{IV}), pues se introduce doble junta, lo cual constituye siempre un inconveniente, no solo por el aumento de mano de obra sino que también se complican las dificultades de asiento y colocación.

Finalmente, otras veces para cortar esta junta quebrada se deja subsistir el mismo plano *c d* (Fig. 204^{IV}), prolongándolo interiormente hasta internar á la bóveda cilíndrica en el trecho correspondiente á la dovela. Es el medio más cómodo y expedito, pero es también una verdad que se aparta demasiado de las prescripciones establecidas en la teoría de las bóvedas de este género.

385. Tercer caso. Superficie en conoide.—(Fig. 204'). Establecida como en el caso anterior la *C D*, la *B D* y el punto *O*, se considera ahora el punto *O* como la proyección horizontal de una recta vertical, la que se toma como á directriz junto con la curva de sección *C D*, tomando como á plano director el de proyección horizontal.

Representaremos varias generatrices de esta superficie, escogiendo varios puntos (1, 1'), (2, 2'), (3-3') en la base *C D*, trazando horizontales por las proyecciones verticales de estos puntos y rectas concurrentes en *O* en el plano horizontal, los

puntos de intersección 1_1, 2_1, 3_1, 4_1, ... etc., que estos últimos nos den con *A B* trasladados arriba en el plano vertical sobre las horizontales correspondientes, nos irán dando 1", 2", 3", 4", ... etc., que unidos constituirán la curva de intersección con la cara de paramento; esta curva será una elipse, cuyo eje menor es el radio de la primitiva circunferencia y el mayor visiblemente igual al ancho de embocadura paramental *A B*. El plano de junta ahora, cortará, como siempre, al plano auxiliar *C D*, según la recta, *b e*, luego el conoide, en la curva *a b*, *a' b'*, y luego al plano de embocadura, según la recta, *c a* paralela á la *b e*, por lo demás se repiten aquí las mismas operaciones indicadas en la figura del caso anterior, diferenciándose solamente en la labra de la superficie de derrame por cambiarse el cono en conoide.

Conviene advertir que empleando el arco circular rebajado en lugar del medio punto se subsanan mucho las dificultades del ángulo agudo, pues en el segundo, es que viene pronunciada la acuidad en los arranques y ésta va disminuyendo á medida que vayan elevándose los puntos que se consideren, siendo próximo al recto en las partes altas. Las bocas de campana se emplearán cuando el cilindro sea de medio punto y pronunciado el esbiage.

386. Cuernos de Vaca.—Especiales para disminuir los efectos perniciosos de la impetuosidad de las corrientes sobre la embocadura de los puentes.

Primer caso. Intrados alabeados.—El puente lo constituye el cilindro que tiene por base (Fig. 205, Lám. 34) la semicircunferencia *A' B' E'*, ensanchándose en su embocadura con arreglo al derrame del pie derecho *A a*, que llega hasta el paramento *a E*, en donde también llega la generatriz culminante. Así pues, queda un espacio triangular *a A E* que hay que cubrir con una nueva superficie, objeto del cuerno de vaca del problema. Concebiremos, ante todo, en el plano vertical *a E*, la elipse de embocadura *a' E'* cuyo eje menor sea la misma *U E'* altura del cilindro del puente; al mismo tiempo imaginando la sección elíptica (*A E*, *A' C' E'*) producida por el corte del cilindro recto por el plano vertical proyectante *A E*.

Haciendo resbalar ahora una recta por las curvas (*a E*, *a' c' E'*) (*A E*, *A' C' E'*) y el eje horizontal *E U* obtendremos

así la superficie alabeada que formará el intrados de nuestra embocadura.

Los planos de junta quedarán enseguida determinados haciéndolos pasar por el eje de juntas *E U* y cada uno de los puntos *B'*, *C'*, *D'*, ... etc., que dividen el arco *A' C' E'* en un número impar de partes iguales.

Así pues, un plano de junta tal como *C' p'* cortará al paramento anterior en la recta *c' p'* al intrados según la generatriz (*C' c'*, *C c*) al paramento posterior según la recta *C' p'* y finalmente al plano de asiento según la horizontal (*p*, *p' p"*) resultando, así, toda la junta proyectada horizontalmente según el contorno que indican las líneas *p' p" c C C"* y la cual constituirá en verdadera magnitud una plantilla que se encontrará fácilmente rebatiendo el plano *p' C' U* alrededor de su traza horizontal *U E* como charnela. Además, se tienen de momento otras dos plantillas en verdadera magnitud, cuales son las cabezas de la piedra en los paramentos anterior y posterior del puente. Si labramos pues, un prisma recto cuyas bases sea la máxima proyección vertical de la piedra, cual es la figura *m B' C' p' n m* colocando en el paramento anterior (Fig. 205') la plantilla de paramento *n m b' i p'*; ya desde luego las líneas *C" p"*, *p' p"*, *p' i* nos determinan líneas por las cuales podemos fácilmente colocar la plantilla de junta que vendrá limitada por *p" p' i C' C"*; y del propio modo situaremos la plantilla inferior *m b' B' B"*. Fijemos el límite, ahora, del cilindro de intrados colocando su desarrollo en *C" B"*, *B' C'*. Ya con estos límites se tendrá que la superficie alabeada estará comprendida entre sus dos directrices *b' i*, *C' B'* por lo que no tendremos más que señalar en las dos, los correspondientes puntos de marca, para trazar luego, por ellos, las generatrices que han de constituir el cuerno de vaca del intrados, cuales obtendremos trazando la serie de generatrices en proyecciones, fijando luego bien los puntos donde éstas corten á las curvas de embocadura *a E*, *A E*, los cuales se trasladarán á la piedra junto con la plantilla de paramento y el patrón de desarrollo del cilindro.

387. Segundo caso. Intrados envolvente.—(Fig 206). Queriendo atenuar más la imposibilidad de la corriente, desviándola, si cabe, de una manera más suave se sustituyen los planos del derrame por superficies cilíndricas tal como la expresada en *A v g a'* lo que obliga á cambiar también la ge-

neración de la superficie de intrados al objeto de qué ésta acuerde con toda exactitud con los pies derechos del puente. Supongamos que el puente queda limitado por su sección recta circular *a b E'* situada en el plano *M M'* mientras que la embocadura ya ensanchada ésta en el plano *A D* terminando con la elipse *A' B' E'* cuyo eje menor igual al radio del cilindro lo que hará que las dos curvas de embocadura sean también tangentes en la proyección vertical en los respectivos puntos culminantes lo cual hace que venga así á formar también un cuerno de vaca pero que aquí será compuesto de una superficie envolvente, suponiendo que la elipse de embocadura se mueve por medio de un movimiento de traslación de modo que los puntos de arranque tal como *A* van pasando sucesivamente por los puntos *v*, *g*, *a'*, á medida que su plano siempre paralelo asimismo en todas sus posiciones va pasando sucesivamente por *P*, *N*, *M*, reduciéndose su eje mayor según la ley de las ordenadas de los puntos *v*, *g*, *a'*, con respecto al eje *E E"*, conservándose siempre constante en magnitud el eje menor. Así es que en este movimiento, la elipse habrá ido reduciéndose pasando de una manera continua á tomar nuevas posiciones, tales como *v x E'*, *g* y *E'*..... hasta venir finalmente á confundirse con el arco circular *a b E'*, siendo por lo tanto cualquiera de sus posiciones una generatriz de la superficie envolvente la cual según esto es de aquellas que admiten generatrices variables en sus dimensiones aunque conservando idénticas propiedades para con respecto á la forma.

Dividiendo ahora el arco de cabeza en un número impar de partes iguales y haciendo pasar los planos de junta por estos puntos de división y el eje *E E"* del puente, las trazas verticales de estos planos limitadas en los planos de asiento horizontales y en las juntas de perfil nos limitarán por completo la totalidad del despiezo así como parcialmente cada una de las dovelas en sus caras de embocadura. Una junta cualquiera tal como la *B' b* la definiremos fácilmente viendo que corta al plano de asiento según la recta (*m*, *n"*, *n'*), al paramento posterior según la recta (*m b*, *n' b"*), al cilindro del paso según la generatriz *b' b"* y finalmente á la superficie del cuerno de vaca según la curva *B x' y' b'*, encontrada por las intersecciones *B'*, *x*, *y*, *b* de cada una de las elipses contenidas en los planos *P*, *N*, *M*, con el mencionado plano de junta puntos que encontrados en proyección vertical se refieren enseguida horizontalmente en las trazas respectivas de cada uno de los

planos que las contienen. El giro de estas juntas alrededor del eje general hasta rebatirse en el plano de proyección nos dará sus verdaderas magnitudes. Una de las juntas, por ejemplo la $m\ b$ se proyecta horizontalmente según la figura $n'\ n''$ $B\ x'\ y'\ b'\ b''$.

La labra de la piedra es, en su mayor parte, igual al caso anterior variando solamente (Fig. 206') el labrado de la superficie de intrados del cuerno de vaca, pues aquí es necesario disponer de una serie de cerchas 1-1, 2-2, 3-3 cada una de curvatura distinta de la otra, deducidas del plano vertical indicadas en verdadera magnitud en $x\ v$, $y\ g$ y colocadas, luego, en la piedra pasando por los puntos de marca pareados, cuyos, se han tenido buena cuenta de trasladarlos con sus plantillas. La (Fig. 206'') indica la misma piedra en el concepto de existir doble junta, pasando cada una de ellas por las normales respectivas de las dos curvas en los puntos B', b.

La colocación y retoque de las bóvedas oblicuas siendo, en estas especiales construcciones, trabajos muy complejos, y que caen bajo el dominio de una clase de construcción. (Por construirse en la práctica sólo de cantería las embocaduras de los puentes), creemos pertinente su omisión en este lugar, indicando empero como á obra de consulta en estos casos particulares el importante libro que sobre el particular tienen publicado los Sres. E. Degrand y J. Resal.



CAPITULO DÉCIMOTERCERO

BAJADAS

388. Llámanse bajadas las bóvedas cilíndricas inclinadas al horizonte, sirviendo regularmente para cubrir un pasaje de escalera ó sostener un piso inclinado ó rampa cualquiera y si bien es cierto que existen otras bóvedas especiales que por su natural estructura están también inclinadas al horizonte sirviendo del mismo modo para los objetos indicados; sin embargo en el uso y práctica de las aplicaciones se ha convenido en llamar bajadas cuando la bóveda es cilíndrica é inclinada según antes hemos indicado.

389. Las bajadas pueden ser rectas y oblicuas ó en esbiage; son rectas cuando la proyección horizontal del eje del cilindro es perpendicular á las trazas horizontales de las superficies que forman los paramentos de los muros que comprenden aquellas y son en esbiage cuando deja de emplearse este requisito y por lo tanto este caso es el que generaliza los demás.

Las bajadas pueden subdividirse también según sea la clase de muro en donde se hallan establecidas.

Expondremos primero la resolución general en algunos ejemplos determinados que constituirán otros tantos problemas referentes á este particular, repasando enseguida los

medios que se conocen y pueden emplearse para contrarrestar en todo lo posible el resbalamiento y empuje innato de esta clase de construcciones.

BAJADA RECTA ESTABLECIDA EN UN MURO EN TALUD

390. (Fig. 207, Lám. 35.) Ante todo para facilitar las operaciones escogeremos un plano de proyección vertical; paralelo á la dirección de la bajada proyectándose así el eje de la misma en $O^h\ O'^h$ en la proyección horizontal paralela á la línea de tierra y $O^v\ O'^v$ la proyección vertical la cual nos indica el ángulo de dicha bajada con el plano horizontal el cual es, $O^v\ O'^v\ E$, la proyección horizontal de las jambas ó apoyos son los dos rectángulos $E\ O'^v\ D^h\ E'$, $E''\ C^h\ P'\ E'''$, el muro en donde está establecida la bajada está proyectado verticalmente en el trapecio $E\ F\ F''\ O'^v$ cuyos dos paramentos el uno $F\ E$ inclinado del ángulo del talud $F\ E\ O'^v$ se proyecta horizontalmente según el rectángulo $E\ F'\ F'''\ E'''$; el otro vertical proyectado en el plano de perfil $F''\ O'^v$, $O'^v\ P'$. La base del cilindro se supone ser una circunferencia situada en el plano vertical $M\ E\ E''$ cuya altura del arranque es $E\ O^v$ así es que girando este plano vertical alrededor de la vertical O^h hasta que sea paralelo al plano de proyección vertical tendremos que el punto E' vendrá en H el cual nos representará la vértical $H''\ H'$ siendo con esto $H'\ O^v$; el radio de la circunferencia que desde luego podemos trazar en $H'\ J\ K\ L\ G''$ como base auxiliar del cilindro; dividiendo este arco en un número impar de partes iguales $H'\ J$, $J\ K$, $K\ L$, etc., y trazando las normales respectivas $L\ S$, $K\ Q$... etcétera, así como los planos de asiento tal como $R\ S$ y verticales límites $R\ Q$ vendremos á ultimar el aparejo de la base auxiliar con respecto á la exposición de juntas; y todas las líneas y puntos así considerados hemos de tener en cuenta de relacionarlos en el plano de perfil $M\ E$ en donde están situados y luego hacer partir de estos puntos una serie de rectas paralelas á la bajada encontrando enseguida las intersecciones de estas con los paramentos y así será que quedarán limitadas todas las hiladas de junta continua. Así limitándonos con la dovela señalada con el signo Σ resulta que el punto K colocado á su verdadera posición viene en K', K_1; de K_1 parte enseguida la línea inclinada $K'\ K'''$ la cual corta en ($K''\ K^7$) al plano en talud y en ($K'''\ K^6$) al plano vertical posterior, repitiendo lo mismo por los puntos L, S, R, Q vértices del polígono que forma la base auxiliar de la dovela vendremos á limitarla entre los planos $E\ F$, $F''\ O'^v$, toda la referida hilada limitada por una parte en proyección horizontal por el pentágono irregular $K^7\ L^7\ S^7\ R^7\ Q^7$ en donde penetra en el talud y la recta $D^h\ L^6$ en el plano vertical posterior.

Se comprende perfectamente ahora, haciendo esta operación para todas las generatrices del cilindro llegaremos á obtener en proyección horizontal la curva elíptica $A^h\ J^7\ K^7\ G\ B^7$ como á penetración de todo el cilindro con el plano en talud. Esta curva siendo una semi elipse cuyos ejes son $A^h\ B^h$, $\omega\ G$ con el auxilio de ellos podíamos trazarla sin encontrar punto por punto, todas las líneas normales á la circunferencia que partiendo de los puntos J, K etc., concurrirán aquí en esta proyección en el punto ω tal como $L^7\ S^7$, $K^7\ Q^7$, las líneas horizontales que determinan planos de asiento y demás que completan el despiezo en el paramento, se determinarán como hemos visto en las demás líneas. Téngase en cuenta que la intersección del cilindro, juntas y demás relativos al plano vertical $F''\ O'^v$ será en un todo igual á la figura que nos ha servido de base auxiliar situada en el plano $M\ E$ puesto que éste es paralelo al de que se trata.

Para terminar el despiezo resta solo dividir cada hilada en partes parciales acudiendo á las juntas discontinuas y éstas como á tales, habiendo de tener la condición de cortar á las primeras perpendicularmente, habían de ser, las secciones rectas del cilindro, las cuales se alternarán conforme muestran las $T\ U$, $V\ X$ y así las demás como indica la figura de su referencia, infiriéndose ya de aquí desde este momento por la disposición especial de estos planos de junta discontinua, que las plantillas de los lechos serán simples rectángulos excepción hecha de las que corresponden á las piedras que presentan paramento, ya á la parte anterior ó sea del talud $E\ F$ ya á las del paramento posterior en el plano vertical $F''O'^v$

391. Obtención de datos necesarios para la labra de la piedra.— Varios son los elementos que en este caso son menester para emplearlos y saber con ellos limitar las piedras de que se trata, pues aquellos son distintos según que la dovela de que se trate forme parte del paramento anterior é inclinado, del pa-

ramento posterior vertical ó en un lugar intermedio entre los dos. En primer lugar podemos proponernos encontrar la verdadera magnitud de todo el paramento inclinado $E F$ lo que realizaremos rebatiendo este plano sobre el horizontal tomando como á charnela la traza horizontal $E E'''$. La operación hecha para una dovela Σ, por ejemplo, nos indicará la referente á las demás. El punto $(K'' K^7)$ al girar describe un arco de círculo perpendicular á la charnela $E' E''$; el radio de giro es $K'' E$ y por lo tanto al concluir el rebatimiento se situará en K^8 á la distancia de k_1; $K_1 K^8 = E' K''$ por idéntico procedimiento obtendremos los puntos L^8, S^8, R^8, Q^8 que constituyen el contorno de la cara pentagonal Σ'

Conviene también tener á mano la sección recta del cañón en bajada y el plano que para ello nos valemos será en este caso particular (de tener el cilindro paralelo al plano vertical) perpendicular al plano vertical; teniendo su traza O'^{V} M^4 perpendicular á la dirección A^V O'^V. La sección recta vendrá pues proyectada según la misma traza O'^V M^4, y solo faltará rebatir dicho plano en el horizontal valiéndonos por eje de giro, de la traza horizontal O'^V P' de dicho plano; así es que el punto K^4 se rebatirá en K^5, L^4 en L^5, S^4 en S^5, R^4 en R^5, Q^4 en Q^5 así el pentágono Σ'' será la sección recta de la tercera hilada y por iguales operaciones llegaremos al total que contiene las demás, tal como expresa la (Fig. 207).

Ya en posesión de este último dato es fácil deducir el desarrollo del intrados así como la verdadera magnitud de las plantillas.

Así en la (Fig. 207') y sobre la recta $b' b_1$, colocaremos unas á continuación de otras las distancias $b' j'$, $j' k'$, $k' l'$... etcétera iguales respectivamente á la rectificación de los arcos de la sección recta $D^h J^5$, $J^5 K^5$, $K^5 L^5$... etc., trazando enseguida por los b', j', k', l'... etc., perpendiculares á $b' b_1$, y sobre cada una de ellas se tomarán las distancias siguientes. Sobre la segunda, $j' j'' = J'' J^4$, $j' j''' = J^4 J''$ sobre la tercera $k' k'' = K^4 K'''$, $k' k''' = K^4 K'''$, sobre la cuarta $l' l'' = L^4 L'''$, $l' l''' = L^4 L''$... etc. Las curvas $b' j'' k'' l''$... etc; $b'' j''' k''' l'''$... etc., serán las transformadas de los arcos del talud anterior y del plano vertical posterior que forman las dos bases opuestas del cilindro, quedando éste desarrollado en su totalidad entre estas dos curvas y las generatrices de arranque expresadas en las rectas $b' b''$, b_1, b_1''.

En cuanto al despiezo parcial, facilmente ahora se concibe como puede colocarse en este desarrollo, con solo colocar las correspondientes distancias de cada una de las secciones rectas que pasan por las juntas alternadas, á la sección recta O'^V M^4 que se ha tomado como á base de operaciones: así es como fijándonos en la dovela Σ, el desarrollo que le corresponde quedará limitado por toda la parte rayada $k''' l''' t n$ de la (Fig. 207') con solo tomar las distancias $k' n$, $l' t$ iguales respectivamente á $U K^4$, $T L^4$.

Las juntas de lecho se encontrarán fácilmente pues si nos fijamos por la que pasa por $K'' U$, podremos observar que afecta la forma de trapecio cuyos lados paralelos son la generatriz de intrados $K'' U$ y la que corresponde al extrados que pasa por el punto Q^8 y que en nuestra proyección vertical da la casualidad que se confunde con $L'' T$; la altura de este trapecio se proyectará pues evidentemente en UT que no es otra cosa que la sección recta de la plantilla y que por lo tanto tenemos en verdadera magnitud en $K^5 Q^5$.

En virtud de lo indicado tracemos en la (Fig. 207'') la recta $R q = K^5 Q^5$, luego las dos perpendiculares á ella $R u = U K''$, $q z = T L''$, uniendo luego los puntos extremos q y R y con esto queda encontrado la plantilla de junta inferior $R u z q$. En la misma figura 207'' se indican todas las plantillas en verdadera magnitud que corresponden á la misma hilada de que se trata y de ella se desprende que todas las juntas que corresponden á las dovelas intermedias á las caras de cabeza son de forma rectangular diferenciándose de las juntas trapeciales que forzosamente afectarán los lechos de las piedras de embocadura.

392. Labra.—Si adoptamos el sistema de escuadría quedará reducida la operación á escoger un prisma (Fig. 207''') cuyas bases sean el polígono Σ'' de la sección recta y cuya altura sea la máxima longitud de la piedra que la tenemos en $K'' U$ en la proyección vertical (Fig. 207). Este prisma auxiliar ya labrado, (Fig. 207''') se colocarán sobre él, en sus caras correspondientes las plantillas que nos den sus justos límites; así en el lecho inferior se dispondrá la plantilla $Q' K' K q$, encontrada en la (Fig. 207''), en el lecho superior la plantilla $S' L' l s$, en la parte de intrados el patrón de desarrollo $L' K' K l$, el cual tenemos á mano en la (Fig. 207'). Teniendo fijados los puntos s, l, k, q, estos puntos nos determinan el

plano inclinado del paramento anterior y así puede desvastarse la excedencia de la piedra hasta poder colocar la plantilla Σ' de modo que se confundan sus vértices por sus puntos homólogos que acabamos de indicar sobre el referido prisma, quedando así la piedra completamente terminada.

Por lo regular y con motivo de que las superficies del arranque tengan el conveniente apoyo evitando que toda la bajada tenga tendencia al resbalamiento al sustentarse sobre dos planos inclinados, se suele terminar todas las dovelas próximas al arranque de modo que formando parte del muro vertical de apoyo termine en sus lechos inferiores por medio de planos horizontales correspondientes á las hiladas de los espresados muros tal como demuestra en la (Fig. 207^{IV}) la piedra *a b c m n*.

BAJADA EN ESBIAGE PENETRANDO EN UN MURO RECTO

393. Cuando la proyección horizontal del eje de la bajada corta oblicuamente á las trazas horizontales de las superficies que limitan el muro donde está contenida aquella, entonces la bajada es oblicua ó en esbiage y da lugar á uno de los problemas más dificultosos que ocurren en Estereotomia, por ser muy complicadas las operaciones á que algunas veces hay que recurrir, para atenuar ó cuando menos disminuir los encuentros escesivamente agudos que alternan por su misma naturaleza la bondad de la construcción.

En la (Fig. 208) la semicircunferencia $A' B' C' D' E' F'$ representa la base del cilindro situada en el plano vertical que se confunde con uno de los paramentos. La dirección en proyección horizontal está indicada por el eje $O\,O''$, siendo las líneas de arranque $F\varphi$, $A\alpha$ y por lo tanto el paralelógramo representado en $A\,F\alpha\varphi$ es el recinto que cubre la bajada, la cual descansa en los muros indicados por la parte que representa rayada.

Ante todo ya sea para facilitar las operaciones y ya también para apreciar la inclinación, echaremos mano de un nuevo plano de proyección vertical $L'\,T'$ paralelo á la dirección de la bajada. Suponiendo pues que el desnivel entre los dos paramentos sea precisamente la altura $O\,O'$, se proyectara el punto O'' en O^3 sobre la $L'\,T'$ mientras que O vendrá en O^{IV} á una altura $O\,O^{IV} = O\,O'$; la recta $O^{IV}\,O^3$ nos proporcionará ahora la verdadera inclinación de la bajada. El cambio de plano de los puntos $A'\,B'\,C'$... etc., nos proporcionará los puntos de la nueva base $A''\,B''\,C''\,D''$.. etc., desde los cuales partirán la serie de generatrices $A''\,A^3$, $B''\,B^3$, $C''\,C^3$ paralelas á la dirección general viniendo á terminar en la curva $A^3\;B^3\;C^3$ ... etc., intersección del cilindro de intrados con el plano de paramento posterior y pueden encontrarse fácilmente proyectando las generatrices en el plano horizontal en donde nos cortarán al plano $\alpha\,\varphi$ en distintos puntos desde los cuales trazando perpendiculares á $L'\,T'$ éstas irán á cortar á las generatrices correspondientes proyectadas en el nuevo plano vertical.

394. Determinemos ahora las juntas de lecho haciéndolas pasar por cada una de las normales $o'\,A'$, $o'\,B'$, $o'\,C'$... etcétera, del arco de cabeza y por el eje $o\,o''$ del cilindro, entonces estos planos cortarán el cilindro según generatrices, terminándolos superiormente por los planos de asiento inclinados; cuyas trazas sobre el plano vertical de la base de las bajada son las rectas horizontales $H'\,G'\,\theta\,\delta$... etc., por medio de las cuales y los planos verticales $G\,G'$, $H'\,\theta$ definimos por completo las bases respectivas de cada una de las hiladas.

Obtenida ya la forma que afectan cada una de las piedras y por lo tanto la del aparejo general en el primitivo plano vertical, cambiaremos de plano para con respecto á todas estas líneas así trazadas pasando á la línea de tierra escogida en $L'\,T'$. Así no tendremos más que unir el punto o^{IV} con A'', B'', C''... etc., y limitar estos radios á las alturas de las horizontales $H''\,G''_2$, $\theta'\,\varphi'$ iguales dichas alturas á las $H\,H'$, $H\,\theta$; expresando también las verticales $G''\,G''_2$, $H''\,\theta'$ para la completa terminación de las caras de las dovelas.

Si ahora tomamos todo este sistema de líneas como directrices de una recta paralela al $o^{IV}\,o_1$ y que se mueve resbalando sobre ellas; encontrando luego en todas sus posiciones la intersección con el plano $\varphi\,\alpha$ vertical posterior llegaremos á obtener la completa proyección vertical de la bajada sobre el plano escogido paralelo á su dirección.

395. Sección recta.—Es interesante este dato porque sobre él basan las operaciones necesarias para la obtención de plantillas de las juntas de lecho, de las discontinuas ó secciones transversales que sirven de base á las dovelas, y finalmente para los desarrollos tanto total como parcial del cilindro de intrados, así como también porque nos ha de proporcionar los ángulos diedros que forman las respectivas caras de una hilada cualquiera.

El plano de la sección recta, siendo perpendicular á la dirección del cilindro, claro está que lo podremos representar por medio de sus trazas *P Q*, *Q R* respectivamente perpendiculares á las proyecciones horizontal y vertical del eje del cilindro; más como éste es paralelo al plano vertical, resultará que aquél será perpendicular á dicho plano de proyección, y por lo tanto la sección que buscamos vendrá á confundirse con la recta *Q R*, traza vertical del plano en cuestión. Solo faltará, pues, rebatir dicho plano sobre el horizontal valiéndonos de su traza horizontal como charnela; en este movimiento los puntos tales como g', a^3, b^3, d^3, describen arcos de circunferencia tales como g' g'', a^3 a^2, b^3 b^2, d^3 d^2, ... etc., paralelos al plano vertical, así como perpendiculares á la charnela, viniendo á colocarse definitivamente después del giro en los puntos g'', *a*, *b*, *c*, *d*,... etc., cuyas distancias respectivas á la charnela *P Q* son visiblemente iguales á los radios de giro. Obrando de este modo llegaremos á obtener la curva de intrados *a b c d*... etc., las rectas *a* g'', *b h* así como las que pasan por los puntos *d*, *e*,... etc.; representación genuina de las secciones rectas de los planos de junta. La recta *a f* representará la intersección del plano inclinado de arranque con el *P Q R*; y así con solo trazar paralelas á ésta, cuales son las que pasan por los puntos *h*, θ tendremos indicados en el rebatimiento los planos de asiento inclinados de las dovelas. Téngase bien en cuenta como á comprobación que pasando todos los planos de junta por el eje del cilindro; todas las rectas *a* g'', *b h* y las demás líneas de junta que pasan por los demás puntos *d*; *e*,... etc.; han de concurrir forzosamente en el punto ω intersección del plano de la sección recta con el eje del cilindro.

Como quiera que de todas estas líneas que hemos trazado en la sección recta, dependen los buenos resultados que luego han de reportar para la exactitud debida en la formación de plantillas y desarrollo; conviene aprovechar todos los me-

dios que estén á nuestro alcance para convencernos de la bondad del trazado de dicha sección recta; en especial, el arco de intrados *a b c d*, etc. y para esto, nos podemos proponer el trazado de tangentes á la misma en los puntos que creamos más procedentes, por ejemplo en el punto *d*. Recordemos que aquí la tangente será producida por la intersección de los dos planos, uno el de la sección recta y otro el tangente al cilindro á lo largo de la generatriz que pasa por el punto *d*. Mas este último plano tiene su traza vertical expresada en *D'*ψ mientras que corta también al plano inclinado del arranque según una recta proyectada horizontalmente en *L*β dirección paralela á la que tiene el cilindro en proyección horizontal, resultando con esto, que irá á cortar en un cierto punto á la línea *a f* que también está situada en el plano de arranque pues es traza sobre el plano de este nombre del plano de la sección recta infiriéndose de aquí que cuando ésta gira perpendicularmente á la charnela el punto de intersección de que se trata obedecerá el movimiento general viniendo precisamente á situarse en γ. Este punto es pues de la intersección del plano *P Q R* con el tangente que pasa por el punto *d*; punto *d* que también lo és resultando según esto que *d* γ será la tangente pedida. Con iguales operaciones se procederá al trazado de las demás tangentes y con ellas las rectificaciones, dado caso de haber incurrido en algún pequeño error.

396. Desarrollo y juntas.—Tómense rectificadas las partes de arco de la sección recta *a b*, *b c*, *c d*, *d e*, *e f* y colóquense unas á continuación de otras (Fig. 208') sobre la recta *a f*, trazando por cada uno de sus puntos de división perpendiculares á dicha línea *a f*.

Estas perpendiculares representan las generatrices en el desarrollo, pero que ahora hay que terminar en sus extremos en el justo límite que interesan en el cilindro en bajada. Para esto tómense á partir de *a f* las distancias y por la parte superior *a A'*, *b B'*, *c C'*, *d D'*, *e E'* iguales á las que existen en la Fig. 208 desde los puntos del arco A'', B'', C'', D'', E'' á la sección recta de los puntos a^3, b^3, c^3, d^3, e^3; del mismo modo y hacia la parte inferior colóquense las distancias $a\ A^3 = a^3\ A^3$, $b\ B^3 = b^3\ B^3$, $c\ C^3 = c^3\ C^3$, $d\ D^3 = d^3\ D^3$, $e\ E^3 = e^3\ E^3$; obteniendo así en la Fig. 208' las dos curvas F' E' D' C' B' A', $F^3\ E^3\ D^3\ C^3\ B^3\ A^3$ las cuales en unión de las gene-

ratrices de arranque $F' F^3$, $A' A^3$, completarán el total desarrollo, dividido en compartimentos cuadriláteros mixtilíneos que cada uno de ellos expresará el desarrollo parcial de cada dovela.

Para asegurarnos bien de la exactitud en el trazado de estas curvas será conveniente ensayar las tangentes á sus distintos puntos, por ejemplo el E'. Recordemos para ello que la tangente á un cilindro, forma con la generatriz que pasa por el punto de contacto un cierto ángulo que queda invariable en el desarrollo. En la Fig. 208 la tangente es la $E' p$ y la traza horizontal de la generatriz es el punto q' luego uniendo p con q' la recta $p\ q'$ (traza horizontal del plano tangente en E') será un lado de un triángulo cuyos otros dos lados son $E' p$ el uno, $E''\ q$ el otro (por ser verdadera magnitud de la generatriz, en el trecho que se la considera para esta operación). Si construímos, pues, este triángulo en la Fig 208′ tomando como á base de su construcción la $E'\ q''' = E''\ q$ lo obtendremos en $E'\ p'\ q'''$ y $p'\ E'$ será la tangente pedida, pues suponiendo se ha hecho el desarrollo alrededor de la generatriz que se considera, dicho triángulo contenido siempre en el plano tangente habrá permanecido inalterable en cuanto á su magnitud.

Los puntos de las dos transformadas que están más separados de la sección recta $a\ f$ gozarán de la propiedad que sus dos tangentes serán paralelas á dicha $a\ f$. Luego mediante este precedente es lo mismo que decir que por sus dos puntos incógnitos pasan dos secciones rectas y que éstas al desarrollarse lo han de hacer según las tangentes á las curvas en los puntos que buscamos. Según esto si en la Fig. 208 trazamos una recta $n\ m$ paralela á la $P\ Q$ traza vertical de la sección recta; y á la vez que sea tangente á la circunferencia de embocadura, el punto m será el pedido al cual corresponderán los m', m'' de la proyección horizontal y trasladados en el desarrollo vendrán en m_1, m'_1, por los cuales partirán las rectas paralelas á la sección recta, satisfaciendo á las tangentes con las condiciones que se les imponía.

Las juntas de lecho si bien se las observa, son paralelógramos en los cuales la separación ó altura comprendida entre los lados mayores, es la sección recta $b\ h$ (Fig. 208) del plano de junta; de modo que (Fig. 208′) si tomamos esta altura en $b\ h$ trazando luego las perpendiculares en los puntos extremos tomando sobre ellas superior é inferiormente á partir de b y h,

las distancias $b\ B' = b'^3\ B''$, $h\ H' = h^3\ H''$, $b^3\ B^3 = b\ B^3$, $h\ H^3 = h^3\ H^3$, obtendremos con la unión de los puntos extremos la plantilla de junta $B^3\ H^3\ H'\ B'$. Del mismo modo haremos con las otras.

397. Labra.—Empleando el método de baiveles y fijándonos como á ejemplo en el salmer de la derecha, escogeremos un bloque de dimensiones aproximadas á la dovela. La longitud de este bloque nos la indica la longitud que tenga la piedra cuando está proyectada en el plano $L'\ T'$ paralelo á su dirección. Aquí en este caso, es la distancia de la recta $G''\ G''_2$ á su paralela conducida desde el punto B^3. En cuanto á las otras dos dimensiones, serán las que nos facilite la sección recta $a\ b\ h\ g^3\ g''$.

Así obtendremos el bloque informe que muestra la (Fig. 208″) en el cual y en donde indique la dirección del lecho de cantera, empezaremos labrando un plano hasta tanto á poder colocar la plantilla últimamente encontrada, viniendo colocada en $B'\ B^3\ H^3\ H'$, ya á partir de este plano puédense labrar otros dos con el auxilio de los baiveles Z, X colocándolos de modo que su plano sea respectivamente perpendicular el uno á la arista $H'\ H^3$ y el otro á la arista $B'\ B^3$. El baivel Z es el que nos mide el ángulo diedro de la junta de lecho superior con el plano subtendente de la superficie cilíndrica de la dovela; y el baivel X es el que mide el ángulo diedro formado por la misma junta y el plano de asiento superior. Labrado que sea el plano subtendente referido, se colocará en él la plantilla auxiliar que limita dicho plano $A'\ B'\ A^3\ B^3$ deducida por medio de la sección recta $a\ b$ de este plano subtendente, de la verdadera magnitud de las generatrices que pasan por a y b; así como de las distancias de los puntos extremos de estas generatrices á dicha sección recta $a\ b$; en una palabra, idénticas operaciones á las que hemos hecho al desarrollar el cilindro, con la única diferencia que la altura del paralelógramo en lugar de ser la rectificación de la curva $a\ b$ será aquí la recta que los une.

Los baiveles X, Z se deducirán de los ángulos que los representan dibujados en b y en h en la sección recta.

Labrados estos tres planos, esto es, el subtendente, el de junta y el de asiento, tendremos ya dispuestas para cada base del prima las rectas $G'\ H'$, $H'\ B'$, $B'\ A'$, por una parte y por otra $G^3\ H^3$, $H^3\ B^3$, $B^3\ A^3$, las cuales nos de-

terminarán los planos de paramento cuales haremos pasar por ellas desvastando la piedra necesaria hasta así obtenerlos pudiendo colocar enseguida sobre los mismos las caras de embocadura $G' H' B' A' G''$, $A^3 B^3 H^3 G^3$ deducidas estas plantillas de nuestra proyección vertical pues allí está en su verdadera magnitud en $A' G' G' H' B'$; siendo iguales las dos bases por razón de ser dos secciones de un prisma por dos planos paralelos; ya situadas en su posición estas dos bases, las curvas $A' B'$, $A^3 B^3$ servirán de bases para la superficie cilíndrica que hay que labrar, quedando reducida la operación á dividir cada una de ellas en un mismo número de parpartes iguales, desvastando luego toda la parte comprendida en el segmento de la parte subtendente, hasta que con facilidad puedan unirse dos á dos los indicados puntos de división y así conocer cada una de las generatrices. Las demás líneas homólogas de la piedra, nos indicarán también dos á dos el desvaste correspodiente para el labrado de los planos que la van limitando.

Bajada en esbiage en un muro cónico recto

398. (Lám 37, Fig. 209). El punto V representa la proyección horizontal del eje del cono recto y trazando un arco de circunferencia que tenga por centro dicho punto y por radio la recta tal como $V I$ la curva que así resulte $IDAN$ podrá servir de base al cono con que se termina el paramento anterior. El plano horizontal que contiene esta circunferencia es el que precisamente hacemos servir para plano de proyección horizontal cuya línea de tierra es $L T$.

Como á dato se supone que la circunferencia $A' C' B' D$ así como las juntas $C' G'$, $B' E'$, $G' F'$... etc. y los asientos en $N'' G'$, $F' E'$... etc., representan la proyección vertical de todas las líneas situadas en la superficie cónica, como son: las intersecciones con esta superficie, del cilindro de intrados, de las superficies de junta y de las de asiento. Al mismo tiempo si imaginamos un plano vertical meridiano de este paramento cónico, tal como $V I$ y lo hacemos girar hasta que sea paralelo al plano vertical tomando la disposición de la recta $I b$, claro está que podremos dibujar la generatriz de sección trazando al efecto una recta $I' M$ que esté inclinada con respecto á la línea de tierra del ángulo que forman las genera-

trices del cono con su base. Este ángulo lo sustituímos aquí por su complementario α que forma dicha generatriz con la vertical $I' I''$. Con el auxilio de esta recta es que podremos encontrar fácilmente la proyección horizontal de todo el aparejo. Si se trata por ejemplo del punto C' todo quedará reducido á conducir por él un plano secante horizontal que cortará á la superficie cónica según una circunferencia, que comparada con la de la base se desprende que la diferencia de sus radios es la distancia $c' d'$ la cual colocada en $I d''$ sobre el meridiano antes mentado nos indicará el radio $V d''$ con el que se obtendrá la circunferencia horizontal $d'' C$ la cual cortada por la proyectante $C' C$ nos indicará el punto C proyección horizontal del C', y así repitiendo esta operación para todos los puntos de la curva de embocadura llegaremos á obtener la proyección horizontal $A B C D$ de dicha curva así como las líneas de junta $C G$, $B E$,... etc., las cuales como se comprende han de encontrarse de ellas puntos intermedios pues serán todas líneas curvas de segundo grado * y en cuanto á lo referente á las líneas de asiento $F' E'$, $N'' G'$ éstas se proyectarán horizontalmente según las circunferencias concéntricas cuyos radios encontraremos conforme antes hemos indicado, valiéndonos del ángulo α.

Antes de seguir adelante se hace indispensable, referir toda la bajada sobre un nuevo plano de proyección vertical paralelo á la dirección de la misma, pues allí conoceremos el ángulo de inclinación y nos será por otra parte más ventajosa la disposición de la sección recta á la misma; pues el plano de esta sección será perpendicular al plano vertical escogido y se proyectará por lo tanto en él, por una simple recta que será la traza vertical del propio plano. En este concepto escojamos el nuevo plano vertical cuya línea de tierra será la $L' T'$ en él la figura que nos ha servido para la proyección vertical primitiva del aparejo en la embocadura se proyectará según la recta $l F^6$ la cual se ha obtenido refiriendo todos los puntos de altura en $l F^5$ y de allí trasladados en la recta $l F^6$. Suponiendo ahora que la línea circular de arranque

* Si quisiéramos conocer la clase de curva que produce la sección del plano de junta con el cono, bastaría comparar en el plano vertical la inclinación de la generatriz $I' M$ con la que tienen cada una de las trazas verticales $G' O$, $E' O$... etc., de los planos de junta y claro está entonces que si la inclinación con el plano horizontal de la primera recta $M I'$ forma un ángulo mayor, menor ó igual al del plano de junta que se considera nos indicará que la línea será una elipse, hipérbola ó parábola.

$N\ A\ D\ I$ se halla á una cierta altura proyectada en el nuevo plano sobre la horizontal $N^3\ I_1$, entonces los puntos de arranque correspondientes á las curvas parciales $N\ A$, $D\ I$ vendrán á proyectarse en las rectas $N^3\ A^3\ D'''\ I_1$. Los puntos del arco, tales como B, C, vendrán á proyectarse directamente en $B'''\ C'''$ obtenidos en el cruce de los proyectantes $C\ C'''$, $B\ B'''$ con las horizontales $C'''\ C^6$; $B'''\ B^6$ cuales nos indican estas últimas las alturas de dichos puntos sobre el plano horizontal de arranque que pasa por los puntos A, D, así haciendo obtendremos la nueva proyección vertical del arco de embocadura $A^3\ C'''\ B'''\ D'''$; encontrando con idénticas operaciones los demás puntos que constituyen tanto las líneas de junta como las de asiento, haciendo únicamente la salvedad para con respecto á las proyecciones de las líneas de junta tales como por ejemplo $G^3\ C'''$, cuales serán líneas curvas por lo que habrá necesidad de encontrar puntos intermedios. No así las líneas de asiento que aparecerán rectas horizontales conforme se proyecta también así la línea de arranque.

Ultimada esta operación y dada que sea la inclinación de la bajada tal como $F^3 F^4$ (inclinación que proyecta aquí el verdadero ángulo que forma con el plano horizontal, y que depende del desnivel que hay que salvar) resta no más imaginar una recta paralela á aquella dirección y que resbale por todo el sistema de líneas que se han establecido en la cara de paramento; así llegaremos á engendrar todas las superficies que componen el aparejo de la bóveda. Así cuando resbale por el arco $A^3\ C'''\ B'''\ D'''$ se engendrará el cilindro de intrados; cuando lo haga por la curva tal como $G^3\ C'''$ engendrará la superficie cilíndrica de junta, cuando sea la $F^3\ E^3$ la destinada á directriz entonces se obtendrá otra superficie cilíndrica para uno de los asientos la cual será análoga á la del arranque; y finalmente resbalando por $F^3\ G^3$ entonces nos dará uno de los planos de juntas laterales.

Encuéntrense ahora las intersecciones de todo este sistema de líneas paralelas con el cilindro posterior $J\ K$, y así vendremos á ultimar toda la nueva proyección vertical; y para esto circunscribiéndonos á la piedra designada por φ' se buscarán los puntos de intersección de las proyecciones horizontales de estas rectas, aristas salientes é intermedias de la piedra con la traza $J\ K$, del cilindro vertical posterior los puntos así obtenidos B'', C'', F'', E'' proyectaránse enseguida en el nuevo plano vertical hasta que las proyectantes per-

pendiculares á $L'\ T'$ vengan á cortar respectivamente á las líneas antes trazadas $C'''\ C^4$, $B'''\ B^4$, $E^3\ E^4$, $F^3\ F^4$, $G^3\ G^4$, echando mano de líneas intermedias entre éstas cuando de la obtención se trate, de puntos intermedios entre líneas curvas, llegaremos con ello últimamente á la terminación de la piedra hacia la cara posterior y ésta estará proyectada en $C^4\ B^4\ E^4\ F^4\ G^4$.

399. Sea pues ahora el plano de la sección recta $P\ Q\ R$, rebatiéndolo en el plano horizontal alrededor de la traza $Q\ R$ como charnela, después de haber encontrado ya su intersección con toda la serie de líneas generales que componen la bajada se podrá disponer en φ' de la plantilla de la sección recta de la pieza escogida que afectará la forma que indican las letras $C_1\ D_1\ E_1\ F_1\ G_1$ en la cual todas las líneas que la contornean son curvas exceptuando solamente una de ellas la $F_1\ G_1$ que corresponde al plano vertical. Con su auxilio encontraremos en la (Fig. 209′) el desarrollo de la superficie cilíndrica de intrados en donde la recta $a_1\ d_1$ es en donde se rectifica la curva de la sección recta últimamente encontrada, mientras que las ordenadas respectivas tales como $a_1\ a'_1$; $a_1\ a''_1$, $c_1\ c'_1$, $c_1\ c''_1$, $b_1\ b'_1$, $b_1\ b''_1$,... etc., son las distancias respectivas que existen desde la sección recta, (Fig. 209) $P\ Q$ á los distintos puntos de los arcos de embocadura $A^3\ C'''\ B'''\ D'''$, $A^4\ C^4\ B^4\ D^4$; así pues resultará ser la figura $d''_1\ b''_1\ c''_1\ a''_1\ a'_1\ c'_1\ b'_1\ d'_1$ el desarrollo total del cilindro de la bajada mientras que el parcial de una de las dovelas tal como la φ tendrá su representación en el cuadrilátero mixtilínea $b''_1\ c''_1\ c'_1\ b'_1$.

Con análogas operaciones vendremos á encontrar las plantillas de junta, por ejemplo, la que corresponde á la junta inferior $C'\ G'$ la cual siendo cilíndrica necesita desarrollarse y al efecto recordaremos que la sección recta de este cilindro de junta la tendremos á nuestra disposición acudiendo á la sección recta general del aparejo, puesto que allí aparece según la curva $G_1\ C_1$ la que rectificaremos en partes parciales en la (Fig. 209″) sobre la recta $\delta_1\ \gamma_1$, levantando ordenadas por los puntos extremos y sus intermedios tal cual aparecen en dicha figura, tomando luego sobre dichas ordenadas las distancias que median desde la sección recta á cada uno de los puntos límites anteriores y posteriores de la junta acudiendo siempre á la proyección sobre el plano paralelo á la

bajada llegaremos finalmente á obtener la figura $\delta\,\psi\,\theta\,\gamma\,\gamma'\theta'\psi'\,\delta'$ en la figura 209''.

400. Labra.—Tratándose de una bajada sujeta á estar comprendida entre variedad de superficies que tienen distintas formas é inclinaciones será preferible adoptar el sistema de escuadría.

Escogeremos al efecto (Fig. 200''') un prisma cuyas bases sean iguales á la sección recta φ' de la dovela. Este prisma está representado en $B\ C\ G\ F\ E\ B\ B''\ C''\ G''\ F''\ E''$; la longitud de este prisma será la mayor separación que exista entre el punto G^4, y la recta $\mu\ E^3$ paralela á la sección recta del contorno aparente de la dovela referida en el plano paralelo á la bajada. Colóquense sobre los cilindros de lecho los desarrollos $E\ B'\ B'''\ E'''$, $G'\ C'\ C'''\ G''$ teniendo en cuenta para la verdadera orientación de las mismas, que la primera ha de partir del mismo punto E coincidiendo su arista superior con la $E\ E''$ en su dirección, mientras que para la segunda se colocarán de antemano las distancias $C\ C'$, $G\ G'$ iguales á las que existán en la (Fig. 209) desde los puntos G''', C''' á la recta $E^3\ \mu$ que pasa por el punto más extremo E^3 en dirección paralela á la sección recta. Colocadas estas dos juntas emplearemos inmediatamente el desarrollo del intrados colocánlo en $B'\ C'\ C'''\ B'''$ haciendo la coincidencia sus vértices con los correspondientes de los $B,'\ B,'''\ C'$, C''' de las juntas antedichas. Procede luego la colocación de la plantilla lateral $G'\ F'\ E'''\ G''$ la cual es fácil de encontrar y teniendo en cuenta que en ella la línea $G'\ F'$ será una rama de hipérbola, así como se ha de tener presente en la colocación de la misma que al hacer la coincidencia las aristas inferiores $G\ G''$, $G'\ G''$ los dos puntos G'' han de confundirse. En cuanto al plano de asiento superior se puede limitar fácilmente ya con la cercha $F'\ E$ por una parte, ya también con las distancias de los distintos puntos de la curva $F'''\ E''$ á la cara $F''\ E''$. Colocadas y labradas estas superficies se tendrá buen cuidado de dejar en los límites de los desarrollos y plantillas varios puntos de marca tal como indica la figura, cuyos puntos de marca unidos dos á dos nos darán ya generatrices inclinadas de las superficies cilíndricas de intrados ó asientos ya generatrices del cilindro vertical posterior, ó ya generatrices inclinadas $1\text{-}1'$, $2\text{-}2'$, $3\text{-}3'$... etc., del cono recto anterior.

401. Se ha podido observar en esta bajada, que sus juntas y asientos inclinados, eran superficies cilíndricas, lo cual como se concibe dificulta algún tanto el problema; considerado en el terreno de la práctica. Es pues conveniente estudiar de modo la cuestión para que aquellos lechos y asientos aparezcan planos, y esto se consigue con solo cambiar el modo de apreciar el dato que constituye la curva $A'\ C'\ B'\ D'$ así como sus líneas de aparejo, pues en vez de partir del concepto de que sirvieran como á proyección vertical de la curva y líneas de embocadura situadas en el cono recto de paramento, podemos suponer ahora que esta figura situada en el mismo plano vertical, es simplemente directriz de todas las superficies que constituyen la bajada con sus juntas ó asientos, y entonces claro es que descartando de estas líneas el arco de medio punto, las demás siendo rectas directrices en el movimiento de una recta que resbala sobre líneas también rectas y conservando en sus posiciones la misma discreción ha de engendrar forzosamente superficies planas.

Partiendo pues de este supuesto, escogiendo siempre un nuevo plano de proyección vertical paralelo á la bajada, en él se proyectará (Fig. 209^{IV}) toda esta base tanto del cilindro de intrados como la correspondiente á juntas y asientos sobre una sola recta $\omega'\ b'''$ trasladada aquí desde los primitivos datos, puesto que todo el plano vertical en donde se han empezado las operaciones del problema; referido al nuevo plano que se escoge tiene su representación en $I'\ I''$ la cual trasladada en $\omega\ b''$, de esta en $\omega\ b'''$ y finalmente de esta á la posición definitiva $\omega'\ b'''$ (todo por haber bajado de una cierta cantidad la proyección horizontal de todo el muro para deslindar mejor las operaciones y hacerlas más claras pudiendo disponer de una nueva figura como es la (209^{IV}). Con esta ultimada se podrá hacer el correspondiente paralelo entre ella y la anterior, apreciando con más conocimiento de causa las diferencias de detalle y resultado entre las dos soluciones.

Suponiendo pues determinadas las proyecciones del muro como en el caso anterior, siendo también la misma la inclinación de la bajada, cuya dirección está representada por $\omega'\ \omega''$ restará finalmente trazar una serie de rectas que pasen todas por los distintos puntos de altura c^V, m'', b''' etc.. los cuales nos indican los puntos del arco director ó ya los que corresponden á las rectas que representan las juntas y planos de asiento; la interseccion de todas estas rectas con el cono anterior y

el cilindro posterior nos darán la bajada en los límites fijados.

Lo que hagamos por ejemplo con una recta será cuestión de repetirlo con las demás. Escogiendo por ejemplo la generatriz de intrados que parte del punto β la cual está proyectada horizontalmente en B^6 B^7 (considerando á esta generatriz indefinida y partiendo como á proyectante; desde el punto B' de la Fig. 209, puesto que este plano continua subsistiendo para nuestras operaciones) hagamos pasar un plano vertical por esta recta, este plano nos cortará al cono según el arco de hipérbola $p\ s\ q$ y entonces será evidente que la intersección de esta curva con la recta escogida nos dará el punto b^4 que proyectaremos horizontalmente en B^6 y será el punto de intersección de la recta con el cono. Pero este mismo plano corta al cilindro vertical posterior según una generatriz vertical proyectada horizontalmente en B^7 y que luego proyectamos verticalmente en el punto B^8 situado sobre la recta que antes habíamos escogido.

En cuanto al procedimiento para encontrar los puntos de la hipérbola antes mencionada, nos valdremos de una serie de planos horizontales que pasen por los distintos puntos de altura que antes hemos señalado en ω', c^V, β, m'', b''' cuyos planos horizontales cortarán al cono según secciones circulares que ya antes hemos trazado para la primera solución; y teniendo luego en cuenta los puntos de encuentro de estas circunferencias con la traza horizontal del plano vertical que hemos hecho pasar por la recta escogida $B\ B^7$; proyectándolos verticalmente sobre los horizontales trazados á las alturas de los puntos ω, c^V, β, m'', b''' nos darán respectivamente los puntos p, s, r, q que buscamos.

Siguiendo estas mismas construcciones llegaremos á encontrar la curva ($a^4\ c^4\ b^4\ d^3$, $A^6\ C^6\ B^6\ D^6$) referente al cono y la $A^8\ C^8\ B^8\ D^8$ para el cilindro posterior, proyectada abajo según la traza horizontal de éste. Del mismo modo encontraríamos las curvas $c^4\ g^4$, $b^4\ e^4$..... etc., que representan las secciones de las superficies de paramento con los planos de junta y asiento; teniendo en su virtud cuidado de escoger los puntos intermedios suficientes para el buen trazado de las mismas. Teniendo así proyectada toda la bóveda será cuando emplearemos el plano de la sección recta expresada en $R_1\ Q_1\ P_1$, encontrando la intersección con la misma para rebatirla luego tal como muestran las operaciones indicadas en

la figura de su referencia, siendo excusado entrar en más detalles sobre el particular toda vez que las operaciones inherentes al desarrollo del intrados, plantillas de junta y sistema de labrado es una reproducción de lo que ya se ha dicho en la primera parte de esta cuestión; y aun aquí se presentan las operaciones rigiendo en ellas más facilidad en virtud de cambiarse en planas las superficies de los lechos y asientos que antes eran constituídos por cilindros inclinados.

Medios especiales para contener el empuje inclinado en las Bajadas

402. Hasta ahora se han considerado los cilindros que constituían la bajada, simplemente independientes; esto es, aislados de toda construcción, como no fuera el mismo muro en cuyo interior estaba practicada, pero sin que en él se empleasen medios para retener la masa inclinada de la bóveda; todo con el objeto de no complicar con profusión de detalles cada una de las cuestiones de que se trataba, y dejar expedita la resolución general del problema que podía sufrir algunas variaciones según fuese la clase del muro empleado, así como la dirección é inclinación del cilindro de intrados.

Réstanos pues ahora entrar en alguna cuestión de detalle indicando los principales procedimientos de que se puede echar mano para evitar que estas singulares bóvedas por su naturaleza especial de estar inclinadas al horizonte, puedan resbalar á lo largo de sus juntas y asientos, máxime si la longitud é inclinación son dignas de tenerse en cuenta.

Ya hemos visto en la (Fig. 207^{IV}, Lám. 35) como para atenuar algún tanto esta dificultad se disponían las piedras de la primera hilada ó del arranque, de modo que formasen parte de las jambas de los muros de apoyo laterales, haciendo así que el asiento de esta primera hilada tuviera lugar por una serie de planos horizontales escalonados; también hubiérase podido terminar por planos horizontales las dovelas superiores de la bóveda, para así dar lugar al apoyo y asiento indispensable á las hiladas superiores del muro. Más todos estos procedimientos que por sí solos bastan cuando se trata de un muro de un grueso relativamente reducido, serían impotentes si de la construcción se tratara de bajadas de longitud considerable en donde una gran masa inclinada vendría solicitada

continuamente al resbalamiento. Los medios de contrarresto son pues, varios, entre los cuales citaremos los siguientes:

403. 1.° **Aparejo de doble piedra.**—Consiste esta solución en colocar la bajada entre dos muros verticales y paralelos, cuyos muros continuación de los de apoyo, suben á una altura mucho mayor que la propia bajada. El medio principal de enlace que ha de existir entre bóveda y muros, queda reducido á que las piedras de las primeras hiladas de la bajada formen cuerpo con los sillares del muro que le son adyacentes, resultando así que cada una de estas piedras se compone de dos partes, una que pertenece á la hilada de la bajada y otra correspondiente á la del muro, y como quiera que, las juntas de lecho de este último descansan horizontalmente, de aquí es, que cargando sobre ellas todo el peso superior del precitado muro, éste vence con exceso la resultante inclinada de la bajada, la cual por otra parte no puede desprenderse del muro en donde está aprisionada, formando con él una sola masa.

Suponiendo como siempre que se ha escogido un plano de proyección vertical paralelo á la dirección de la bajada, representada así en la (Fig. 210, Lám. 38), de ella tenemos la base como á dato, que está expresada por el cuarto de circunferencia $A\ B\ C\ F$ en cuanto á su intrados y por lo relativo al extrados el arco circular $H\ I\ J\ K$, de centro más bajo que el primero; además, observando el grueso del arranque, éste, expresado en la distancia $A - 4''$, tendrá que dividirse en dos partes y ser bastante capaz para una de ellas $A - 4$ pueda representar el grueso que corresponde á la bóveda y el otro $4 - 4''$, el relativo al muro, el cual como hemos dicho se expresará á una altura mayor que la bóveda.

Toda esta base con sus líneas correspondientes se supone ser la sección de la bajada por el plano vertical $K\ \omega$, la cual se ha hecho girar de un cuarto de revolución alrededor del eje vertical $O\ K$, hasta venir á colocarse en la disposición á que nos hemos referido, esto es, paralela al plano vertical.

Así dispuesto el dato, conociendo de este modo todos los puntos de altura; estos, tales como A, B, C, D,.. etc., H, I, J, K... etc., se referirán en la proyección de la base primitiva $O\ K$ á las alturas que indican B', C', D',... etc., desde los cuales se trazarán una serie de líneas inclinadas paralelas á la dirección general, expresando las vistas, las que corres-

ponden al intrados y ocultas, las de la parte opuesta. En esta proyección se verán también los muros laterales que comprenden la bajada, distinguiéndose del mismo modo los sillares deslindados por las juntas continuas y discontinuas.

Efectúese en este estado el despiezo de juntas discontinuas con respecto á la bajada, insiguiendo los procedimientos que se han practicado cuando se ha hablado de las mismas; pero teniendo en cuenta que cada piedra de la bóveda, referente á las primeras hiladas ha de ir invariablemente unida con un sillar del muro, será necesario hacer la elección de dicho sillar de modo que ofrezca el mayor contacto con la dovela y además que la diferencia de los ramales, ó longitud de cada una de las partes, no sea muy extremada, para evitar un exceso de desvaste cual podría ser muy dispendioso.

Así por ejemplo si nos fijáramos en la piedra de la bajada cuyo intrados está expresado por el pentágono irregular $a\ b\ c\ f\ i$, veremos que el sillar que cumple mejor las condiciones antes enumeradas, es el expresado por $a'\ b\ e\ d$, habiendo ya exprofeso llevado el despiezo del muro de tal modo que la junta vertical $a\ b$ fuera la misma para el intrados que para el extrados, evitando así, resaltos que pugnan con la economía; no pudiendo por cierto hacer otro tanto en la parte apuesta en que la junta $c\ f$ ha de ser completamente distinta de la $e\ d$ la primera inclinada la segunda vertical, únicamente sí, se combinará de tal suerte el despiezo que el vuelo de una parte con respecto á la otra no sea muy pronunciado; en una palabra que la parte lateral vista en $f\ c\ e\ d\ g$ sea la menor posible y esta lo sería en nuestro caso si la vertical $d\ e$ pasará precisamente por el punto f.

Si de otra piedra se tratara, tomando como á ejemplo una de la segunda hilada tal como $r\ m\ n\ s$, ésta tiene como á sillar más indicado para servirle de compañero el proyectado en $x\ u\ t\ v$, y en este caso el perímetro que forma el contorno de estas dos figuras nos proporcionaría dos de las dimensiones del prisma capaz para el labrado de la piedra. Como regla general puede establecerse para que presida en lo posible la economía, es que uno de estos contornos de la proyección vertical sobresalga lo menos posible del otro, lo que se consigue por medio de varios ensayos combinando los despiezos de la bóveda con los del muro y tendiendo en estas operaciones que el centro de figura $m\ n\ s\ r$ esté próximo todo lo que se pueda del centro de figura del otro rectángulo

x u t v; así es que si coinciden entonces reunirán mucha mejor propiedad para efectuar el labrado.

Así dispuesto el despiezo echaremos mano del plano de la sección recta *O' S* con el cual se encontrarán las plantillas de testa de la bóveda correspondientes á las juntas discontinuas, puesto que enseguida van á emplearse para que sirvan de bases y directrices á la vez á las líneas de la bajada, colocadas ya en las piedras que se trata de labrar. Al efecto imaginaremos que el plano *O S* gira alrededor de su traza horizontal proyectada en el punto *o'*, hasta colocarse en el plano de perfil *o' t*, que es paralelo al plano ω *K* de la base, en el cual se proyectará en verdadera magnitud. Más para apreciarla de una manera conveniente, convendremos en que el plano *o' S* gira alrededor de la vertical *o' t* por medio de un cuarto de revolución hasta que su traza horizontal coincida con la línea de tierra, y así dispuesto, es cuando se llevará á cabo el primer giro antedicho. Siendo ahora el ángulo *S O' R* la cantidad que ha de girar para que coincida con el plano vertical.

Con este precedente y teniendo en cuenta que las distancias *O' B"*, *O' C"*, *O' D"*... etc., son precisamente los radios de giro que vienen á colocarse definitivamente en el plano vertical *O R* y allí nos indican en altura las horizontales en donde han de rebatirse los puntos de la sección recta, pues aquellos describiendo arcos de circunferencia contenidos en planos de perfil, el cruce de las proyectantes $A\,A^3$, $B\,B^3$, $C\,C^3$... etcétera con las horizontales mencionadas nos darán por último una serie de puntos que unidos proporcionarán la mentada sección recta.

404. Labrado.—Suponiendo que se trate de la piedra Δ se procederá al labrado de un prisma auxiliar cuyas bases sean el rectángulo que se circunscriba al contorno aparente de la proyección vertical y por altura el mayor grueso que lleguen á constituir las dos piezas unidas, que aquí en este caso está expresado por la distancia $B^3\mu$, este paralepípedo está expresado en la (Fig. 210') por δ *b e* α β γ, sobre la cara anterior se colocará inscrita tal como aparece en proyección vertical la plantilla *b a h g d e*, marcando también el contorno interior *g f c*. En cuanto á la parte posterior, podrá colocarse el rectángulo *a" d" e" b'* que representa el paramento del sillar perteneciente á la cara posterior del muro, y tomando luego las

distancias *e' e"*, *d" d'*, *a" a'* iguales al grueso correspondiente destinado al simple muro, con estas distancias convenientemente colocadas nos darán los límites del desvaste para alcanzar en el labrado, los planos que terminan el paralépípedo *a' d' e' e" d" a" b'* y que constituye el sillar que acompaña la dovela. En cuanto á esta, será fácil ahora cortar dos planos que pasen por *a h*, *c f* perpendiculares á la cara δ *b e* α y en ellos proseguir el labrado hasta poder colocar la plantilla de testa encontrada en la sección recta ψ, cuya operación puede facilitarse si se ha labrado de antemano como hemos dicho la cara vertical *c' e' d'* del sillar posterior y en él colocada la plantilla de deslinde que se tiene en verdadera magnitud en el plano de proyección vertical en *g d e c f' g*, colocada que sea ésta en la (Fig. 210'), ya la recta *c' f"* junto con la *c f* determina perfectamente el plano de junta en la dirección que le corresponde perpendicular al cilindro. Con respecto á la testa superior hay aun más facilidad para fijar dicha dirección toda vez que las rectas *a a'*, *h h"* son fáciles de trazar estando directamente á nuestro alcance sin tenerlas que ir á buscar en el interior de la piedra conforme hemos hecho con la *c' f"*.

Dispuestas así las plantillas ψ ya no queda más que hacerse cargo de las líneas homólogas de los dos contornos de estas plantillas, desvastando la piedra hasta labrar los planos y superficie cilíndrica que dos á dos indican dichas líneas.

405. (La Fig 210") indica el labrado de la piedra doble Σ que expresa un montacaballo, demostrando esta pieza la disposición que conserva el asiento del montacaballo para que siendo horizontal preste debido apoyo á las hiladas superiores, sin que por esto, deje de continuar el resto de la pieza con la inclinación natural de la bajada; únicamente aquí, que parte de la dovela está aislada ya superior, é inferiormente, será necesario efectuar la labra del apéndice inferior *e f d* con grandes precauciones para no alterar la piedra en sus ángulos, cuyas precauciones han de extenderse también en la colocación de la misma.

406. Trátase muchas veces (Fig. 210‴) al objeto de asegurar entre sí dos piezas de añadir en el lecho de la inferior una especie de espiga que sobresale de la misma piedra y que tiene la forma aproximada de un dado cuya base superior es horizontal, suponiéndolo terminado al ser cortado por el

plano inclinado del lecho; así es que una caja cuyo contorno obedezca al de dicha espiga y practicada esta cavidad en la junta de la pieza superior, será apropósito para que ésta encaje con la espiga la cual siendo de grueso suficiente retendrá el resbalamiento sobre las juntas. No es una disposición pueril la de este vástago pues si fuera constituído por un prisma que llevara la inclinación de la bajada muchos serían los casos en que aparecería alguna dificultad en la colocación de las dos piezas; he aquí porque se ha dicho que sería conveniente que la base superior de esta espiga fuese horizontal indicando con esto que las aristas intermedias entre las bases han de ser verticales.

Se comprende perfectamente ahora cuando de espigas de esta clase se trate, la necesidad que hay de tener en cuenta su proyección sobre el plano de la sección recta y así tenerla en consideración al labrar el prisma capaz.

407. 2.º **Sistema de doble hilada. Aparejo de Adhemar.**— La ingeniosa solución debida al ilustre ingeniero Adhemar consiste en la combinación de las dovelas entre sí, de modo á que por medio de resaltos ó redientes se vayan enlazando siendo cada una de ellas solidaria de las demás y viniendo á interesar cada piedra dos hiladas de la bóveda logrando así un verdadero conjunto y obrando una sola masa.

Una sección paralela á la dirección de la bajada tal como muestra la Fig. 211 trazada con el auxilio de la base que tenemos rebatida á la izquierda conforme hemos visto en el caso anterior, nos bastará para comprender lo artificioso del aparejo. En primer lugar los muros laterales de sostenimiento han de estar terminados en escalonado conforme muestran los sillares π, π' π''... etc., y según también hemos visto en casos anteriores. Sobre los asientos horizontales de los mismos descansan inmediatamente las piedras pentagonales α, δ, etcétera, que llevan consigo el arranque de la bóveda, pero alternadas de modo que una de ellas como por ejemplo la δ se presenta sencilla y la siguiente la α enlazada invariablemente con parte de la segunda hilada y formando las dos hiladas un resalto *i c d*, cargando con él y en contacto más directo con la pieza δ; más en pos de la α sigue una parte de la segunda hilada β unida invariablemente con parte de la tercera hilada haciéndolo también valiendose del resalto *b h p* por medio del cual tiene lugar el enlace de β con α, sigue luego la pieza siguiente en γ que forma parte de la tercera y cuarta hilada: y de igual modo por medio del resalto *r s t* se verifica el contacto de γ con β.

Resulta pues que partiendo las consideraciones desde una pieza de las mentadas tal como γ ésta queda aprisionada entre la pieza superior y la otra inferior que es β empujando á esta última, pero esta hace lo mismo con α la que oponiéndose á ello δ tiende el movimiento á hacer girar dicha pieza α alrededor de la arista *i* pero á este movimiento se opone el ángulo *l m a* junto con toda la masa situada en la parte opuesta de dicho ángulo y como que iguales consideraciones podríamos ir haciendo al ir escogiendo nuevas piedras que siguiesen á las mentadas, de aquí deduciríamos que los cortes en este sistema son llevados de tal modo, que media una completa compensación en los efectos desarrollados viniendo en definitiva los planos horizontales k''' *m*, *l i*, *y k*, á recibir el peso total mientras que los verticales *m l*, *i y*, *k u* reciben los efectos del empuje disminuído por el mismo peso, este aparejo necesita de todos modos el enlace de las piedras de embocadura con las hiladas de los muros de paramento.

No hay duda que según de la manera como se formen las piedras en su doble hilada el gasto puede ser excesivo en virtud del ramal considerable que se haya elegido en la diferencia de longitud de una á otra hilada que entra á formar la piedra. Su autor aconseja que la parte saliente *c d* sea el tercio ó el cuarto de la *a c* pudiendo disminuir esta relación proporcionalmente á la economía que se desee presida en la construcción de esta bóveda.

408. Por medio de la sección recta encontrada como en el caso anterior se obtendrán las plantillas de juntas discontinuas, que en este sistema se emplearán dos para cada piedra. Si nos fijamos por ejemplo en la piedra α, su máxima proyección vertical tal cual la concebimos con las dos hiladas vendrá representada en la (Fig. 211') por el contorno α'; si pues se escoge un prisma cuyas bases sean dicho contorno y cuyo grueso ó separación de las mismas sea el que nos indique todo el grueso de la sección recta contado desde el punto C^3 que es el más saliente, resultará que éste sólido será capaz para la piedra en las condiciones que la hemos dispuesto.

Córtense luego á escuadra con las dos citadas bases los planos cuyas trazas son las rectas *m q*, *i e*, *b g*, *f d*, colocan-

do en los dos primeros la plantilla ɸ y sobre los dos segundos la φ. Dos á dos estas plantillas darán líneas homólogas que combinadas nos darán la serie de planos que terminan el contorno de la piedra, así como los cilindros de intrados y extrados con el auxilio de las curvas del mismo nombre.

La (Fig. 211'') es reproducción de la explicativa que Mr. Adhemar ofrece en su trabajo, dá idea cabal de como aparece el aparejo en el espacio por medio de sus ingeniosos enlaces.

La (Fig. 211'''). muestra la disposición de varias piedras adoptando en la bajada el sistema de doble hilada, empero se ha tenido singular cuidado de que las dovelas formando clave, fuesen simples, esto es, sin enlaces con las contiguas consiguiendo así con su independencia de posición ser más fáciles las operaciones de retoque y rectificación si así fuese menester, pues siendo las claves las últimas piedras de la bóveda que se labran, permite esto, la ventaja de poder tomar todas las precauciones necesarias para que lleguen á ocupar exactamente los huecos para ellas destinados.

409. Aparejo valiéndose de un muro de contensión situado en la parte inferior recibiendo la bajada.—Se comprende ya desde luego al emplear un muro de suficiente resistencia para que en él se apoye toda la bajada, que la esencia del problema ha de estribar precisamente en el mejor estudio de enlace de los sillares del muro con las dovelas de la bajada. Escojamos como siempre un plano que sea paralelo á la dirección de la misma, este plano es $L\ T$ y en él se proyecta ésta en un corte vertical que la divide en dos simétricas. La base del cilindro de la bajada está rebatida paralela al plano vertical alrededor del eje E estando representada por el cuarto de círculo $A\ B\ C\ D\ E$, su extrados y las juntas y asientos correspondientes. En cuanto al muro que recibe la contensión viene representado en su grueso en el plano vertical por sus trazas $O\ \alpha$, $O\ \beta$ y en el plano horizontal por $O\ \alpha'$, $O'\ \beta'$ y con esto queda dicho como este muro viene situado perpendicular á la vez que al plano vertical, á la dirección de la bajada.

Mas este cilindro es evidente que nos cortará al plano vertical $O\ \alpha$ según una sección circular exactamente igual á la que hemos expresado en el plano $A^3\ E$ y que por lo tanto podemos rebatirla alrededor del eje vertical E'' hasta obtenerla en $E''\ H'$ paralela al plano vertical, así resultará en verdadera magnitud en $A^5\ B^5\ C^5\ D^5$... etc.; como que las juntas han de concurrir en A^4, punto que es la traza del eje con el plano vertical $O\ \alpha$, la unión de dichos puntos con el citado A^4 nos darán las líneas de junta $A^5\ J^7$, $B^5\ G^7$, $C^5\ X$,... etc., estas juntas que se habrán de extender hasta los asientos horizontales del muro se comprende han de ser mucho mayores que las correspondientes á la otra base hecho mérito de que las piedras de la embocadura en el muro han de ser de mayor dimensión que las demás por tener que ir unidas al ramal de la bajada y llevar ellas las consecuencias de todo el empuje de la misma, han de ser pues potentes dándonos con su masa y calidad suficientes garantías de solidez.

410. Entremos ahora á estudiar por partes el modo de combinar las juntas de bóveda y muro y escojamos en primer lugar la junta $B\ K$ y para esto será cuestión de analizar el modo como este plano de junta va cortando á las superficies que encuentra á su paso. Si partimos de la generatriz de extrados cuya traza es (K^3, K') ésta viene un momento que prolongada corta en el punto (m, m'') al plano de asiento, más como éste está limitado por el radio $B^5\ G^7$ en el paramento anterior del muro resulta que el punto G^7 es también de la intersección del plano de junta inclinado con el de asiento horizontal del muro infiriéndose de aquí que la recta ($m\ G^4$, $m''\ G^8$) será la intersección de los dos planos. Más por otra parte si al llevar á cabo el despiezo de juntas discontinuas se colocara por ejemplo una en la disposición que indica el plano $M\ S$, ya de aquí inferiríamos que la junta estaba limitada en proyección vertical por la figura encerrada dentro de las letras $P\ B^4\ G^4\ m\ S$. Pero en esta hilada se ha de tener también en consideración la pequeña faceta cilíndrica del extrados cuya traza sobre el plano de la base es el pequeño arco $K\ I$, y ésta conforme demuestra la figura viene á cortar el plano de asiento según la curva proyectada en ($n\ m$, $n'\ m''$). Finalmente el plano de asiento inclinado $H\ I$ cortará al plano de asiento horizontal del muro según la recta (n, $p\ n'$) y con ella quedará terminada ya la combinación de la primera hilada de la bóveda con la del muro quedando definida toda la piedra en proyección vertical por el contorno $N\ A^4\ G^4\ m\ S\ M$.

Si consideramos ahora la segunda junta $C\ Y$ razonaremos del mismo modo, así es que la generatriz de extrados que parte del punto Y, lo primero que encuentra á su paso es al plano vertical posterior del muro $O'\ \beta$ cortándole en el punto

Y'', Y''', más como el ramal de la segunda hilada de la bóveda ha de ir enlazada con el de la segunda hilada del muro, esto exige que el plano de junta $C\ Y$ se prolongue hasta poder alcanzar el corte con el plano de asiento horizontal $X'\ X''$; de este modo se comprende como el plano de junta $C\ Y$ cortará al muro por la parte posterior según la recta $X'\ Y''$, $Y'''\ X'$, cortando luego al plano horizontal de asiento según la $X'\ X''$, $X_1\ X^6$, luego cortará al paramento anterior del muro según la $C^4\ X''$ rebatida en $C^5\ X$ y finalmente cerrará la figura la generatriz del intrados $C^4\ C^5$; de modo que si en el despiezo de juntas discontinuas $U\ V$ fuese una de las juntas correspondientes y próximas al muro la piedra de la segunda hilada vendría proyectada verticalmente en el contorno indicado por las letras $U\ B^4\ X''\ X'\ Y''\ U$.

Plantillaje.—Propongámonos encontrar la verdadera magnitud de la junta de la primera hilada y hemos visto proyectada verticalmente en $P\ B^4\ G^4\ m\ S$, al efecto la haremos girar alrededor de la generatriz $P\ B^4$ trasladándola en la (Figura 212') para hacer mas claras las operaciones, encontrando antes la sección recta del intrados por medio del plano $A^3\ \theta$ el cual giraremos en $A^3\ \theta'$ paralelo al plano horizontal, siguiendo así las construcciones indicadas vendremos á obtener dicha sección recta tal como indica su resultado.

Cuando ahora la plantilla tal como hemos indicado, el punto S vendrá sobre la perpendicular levantada por el punto P á una altura $P\ S = B''\ K''$, á igual altura vendrá el punto m y en cuanto á G^4 se situará en el cruce de las distancias $m\ G^4$, $B^4\ G^4$ igual la primera á $m''\ G^6$ y la segunda á $B^5\ G^7$, así cerrará la figura del contorno α, de igual modo deduciríamos la β relativa á la segunda hilada.

411. Labrado.—Si del labrado se trata de la piedra Δ se empezará preparando un prisma cuyas bases sea el contorno aparente sobre el plano vertical cuyo contorno Δ' se expresa por la parte rayada, Sobre la parte lateral que indica el paramento del muro, colóquese la plantilla Δ, así como la Δ'' en el plano $M\ P\ S$ que indica la sección recta de la primera hilada en la terminación del ramal con respecto á la piedra; estas dos colocadas, las rectas $P\ S$, $P\ B^5$, $B^5\ G^7$ (Fig. 212''), serán suficientes para determinar el plano de junta sobre el cual aplicaremos la plantilla α que vendrá en $P\ B^5\ G^7\ S'\ S$, también podremos colocar la plantilla horizontal del plano de

asiento del muro, $T\ R\ H^7\ G^7\ s'\ K'\ K''\ T$, éstas así nos deslindan perfectamente todas las caras ó superficies que hay que labrar, así las curvas $s\ K$, $s'\ K'$ serán directrices para el cilindro de extrados, $K\ H$ y $K'\ K''$ darán el plano de asiento inclinado, $h\ H$ y $h\ K''$ el triángulo vertical $K''\ H\ h$ que sobresale el asiento inclinado del horizontal y finalmente las líneas $h\ T$, $T\ b$, lo que avanza de más el sillar con relación á la dovela.

La (Fig. 212''') representa la piedra en perspectiva en el caso en que se haya determinado la junta $C\ J\ N$ del arco del muro en dirección perpendicular á este al objeto de poder retener con más ventaja la hilada inclinada de la bajada y entonces la cuestión si bien cumple mejor con las condiciones mecánicas, se complica en cambio, pues siendo aquí distintos los planos de junta del cañón y del muro se combinarán dándonos una intersección tal como $H\ I$, introduciendo con ella nuevos resaltos, ó ángulos entrantes y salientes que han de dificultar la labra de la piedra.

412. 4.° Arcos torales ó de refuerzo en ambas embocaduras.—En esta solución (Fig. 213) se encierra por decirlo así el cilindro en bajada por otros dos cilindros horizontales uno en la parte superior de la misma y el otro por la parte inferior, cuyas generatrices horizontales de los mismos pueden seguir al ras de las correspondientes inclinadas de la bajada, ó bien sobresaliendo de ellas formando como arcos torales reforzando la construcción en sus extremos. Estos arcos situados convenientemente en dos muros donde se construyen, con el auxilio de la disposición del despiezo, ya también por medio del peso que gravita sobre los mismos no hay duda que contribuyen el primero en impedir el resbalamiento de las primeras piedras de cada una de las hiladas al paso que el segundo contiene todo el empuje de la misma y ésta queda en definitiva formando una sola masa estable con los dos arcos en cuestión.

Por lo demás siendo muy análogo este caso al anterior pero de mucha más facilidad nos limitamos al simple despiezo del aparejo proyectado en un plano paralelo á la dirección de la bajada, expresando los rebatimientos de las bases de los arcos torales siendo también aquí de necesidad el hallar la sección recta de la bajada conforme hemos ya indicado tantas veces. La piedra número 213' demostrará el enlace

de una pieza de la bajada con otra del arco de refuerzo, pieza que está proyectada en β. En esta piedra observaremos que siendo distintos los planos de junta del cilindro inclinado y del horizontal se ha de presentar forzosamente un ángulo entrante en la intersección de dichos dos lechos, lo cual hasta cierto punto ya hemos visto poco há ofrece alguna dificultad para la debida colocación de las piedras de modo que el contacto de los lechos sea íntimo.

413. 5.° **Retención por medio de un cañón horizontal.**—Hasta cierto punto este caso es de los que pueden tener mas aplicación en la práctica, puesto que en general el pasaje inclinado suele desembocar en otro pasaje horizontal que puede cortarse ó no en ángulo recto con el primero en cuyo caso construyéndose la cubierta de este pasaje horizontal por medio de un cañón seguido claro está que tendríamos la combinación de estos dos cilindros y bajo este concepto las piedras destinadas á formar parte del encuentro es conveniente que formen parte de los dos cañones llevando consigo dos ramales que serán continuación de cada una de las hiladas de los dos cilindros; más bien se ve claramente que al obrar así entraríamos ya de lleno en una de las bóvedas compuestas conocidas con el nombre de lunetos lo cual nos alejaría del trabajo que nos hemos propuesto hoy realizar cual es el de tratar solamente las bóvedas simples y si bien es verdad podríamos considerar el cañón horizontal construído de albañilería esto conduciría al fin á operaciones análogas á las ya tratadas en otros asuntos anteriores.

Retoque y rectificación en las bajadas

414. Poco queda que detallar de estas operaciones cuando se trata de simples bajadas una vez detalladas al tratar de los cañones horizontales. En efecto, una bajada puede considerarse siempre terminada en sus bases por dos arcos que, á su vez se supongan como á directrices de dos cañones horizontales, como hemos visto últimamente, así es que efectuada la colocación de dichas bases, bastará una simple regla que una todos los puntos de una de ellas con los de la otra; y esto lo mismo para el cilindro de intrados como para los planos de junta y asientos, teniendo así guías fijos y seguros para la colocación, echando mano si así lo exige la longitud del paso inclinado de cimbras intermedias paralelas á los paramentos ó también colocadas en el sentido de la sección recta, siendo como es natural diferente para cada uno de ellos se dispone á distinto nivel obedeciendo á la inclinación de la bajada suministrada por el dato.

Por medio de la regla y la plomada se rectificarán retocándolos los arcos verticales de embocadura conforme se dijo en los cañones horizontales, lo propio se hará con una sección vertical intermedia, y entonces seguros con estas líneas, tan solo bastará repasar las creces excedentes, ó suplir las pequeñas soluciones de continuidad negativas para obtener la superficie continua del intrados definitivo.



CAPITULO DÉCIMOCUARTO

BÓVEDAS CÓNICAS DE EJE HORIZONTAL

415. Toman esta denominación, cuando las superficies de intrados son superficies cónicas de eje horizontal. Tienen distintos empleos en la práctica, siendo á propósito para cubrir pasajes convergentes, huecos luminares practicados en toda clase de muros y superficies, cuales aberturas existe precisión que afecten formas tales de modo que sus anchos respectivos en sus extremidades sean distintos siendo fácil aplicación en las especiales cuestiones conocidas con los nombres de *bóveda cañonera*, *ojo de buey*, *boca de lobo*, éste, así como formando parte de otras bóvedas compuestas.

416. Las bóvedas cónicas de eje horizontal se dividen en rectas y oblicuas; conociéndose las primeras en que la proyección horizontal del eje de la superficie cónica sea perpendicular á las trazas horizontales de las superficies donde se practican, en el caso contrario entran en la denominación segunda. Adviértase sin embargo que una bóveda cónica puede cortar oblicuamente á una superficie y sin embargo ser la superficie cónica de que se trata recta por su naturaleza.

BÓVEDA CÓNICA RECTA EN UN MURO RECTO

417. La separación de las trazas horizontales de dos planos verticales tales como $M N$, $L T$ representa el grueso del muro recto, en cuyo interior se trata de abrir el pasaje trapecial (Fig. 214, Lám. 40) $G C c f$ cubierto por un cono recto cuyo eje horizontal es $O O'$ perpendicular al plano vertical ó lo que es lo mismo á los paramentos del muro, siendo las bases circulares la circunferencia $C' B' G'$, $G C$ la mayor y la $c a' b' f$ la menor de modo que el intrados de que nos vamos á ocupar queda constituyendo la mitad de un tronco de cono.

El fraccionamiento en este caso es bien sencillo imponiéndose las juntas continuas, pues es lógico que siendo la superficie susceptible de ser cortada por generatrices rectilíneas que guardan todas posición idéntica con respecto al eje que las regula y siendo éste perpendicular al plano vertical, claro está que los planos que pasen por este eje y por los puntos A', B'..... etc. que dividen al arco de cabeza en un número impar de partes iguales, cumplirán con las mejores condiciones de corte, primero por dar las secciones más sencillas que en él se pueden trazar; segundo por hallarse dispuestos con uniformidad alrededor del eje, proporcionando simetría y tercero por encontrarse los planos perpendiculares al plano vertical y proyectarse en él las juntas sobre las rectas $a' E'$, $b' D'$,..... etc., cuales se limitan por planos de asiento horizontales $D' E'''$, $E' P$ y los planos verticales, tal como uno de ellos $E' E''$.

Si prolongamos las generatrices de arranque en el plano horizontal nos darán el punto O'' y en él irán á concurrir todas las demás generatrices proyectadas en este plano, para lo cual bastará proyectar A' en A y B' en B..... etc., uniendo luego A, B..... etc., con O'' aprovechando de estas proyecciones las partes comprendidas $A a$, $B b$,..... etc , así tendremos terminadas las líneas de aparejo, correspondiente al intrados.

418. El análisis de una junta se presenta por cierto también muy fácil, pues que por la disposición de los planos de paramento con respecto á cada una de las juntas, resulta que cada una de éstas ha de afectar la forma trapecial cuyos la-

dos paralelos sean las secciones de los planos de paramento con la junta y cuya altura sea el grueso del muro; he aquí porque la junta, por ejemplo, *a' E'* tiene por proyección horizontal el trapecio *a A E E'* y en verdadera magnitud al girar la junta *O' E'* para rebatirse en *O' E'''* el otro trapecio *c C Q E'''*. Se concibe, pues, que esta plantilla se hubiera podido obtener sin necesidad de acudir al giro y trazando directamente el trapecio indicado en una posición aparte cualquiera, pero que cumpliera con los requisitos de bases y altura antes indicados, siendo evidente que todas las demás juntas podrían encontrarse del propio modo.

Para que pueda presidir más exactitud, ó si se quiere comprobación en la labra de la piedra que muy luego vamos á mentar es conveniente obtener el desarrollo total y parcial de la superficie cónica, operación aquí sencillísima por ser el cono recto y por lo tanto desarrollarse su tronco (Fig. 214') según un sector circular, de forma trapecial, siendo los lados de este trapecio *f G c C* iguales á las líneas del mismo nombre de la proyección horizontal, cual sector se dividirá en tantas partes parciales igual al número en que se ha dividido la bóveda y así tendremos, por ejemplo, la división parcial *A' B' b' a'* que corresponderá al desarrollo particular del intrados de la contraclave, intrados que se proyecta en el plano vertical según el trapecio mixtilíneo *A' B' b' a'*. Conviene en dicha proyección vertical del intrados representar unas cuantas generatrices cuales concurriendo al vértice del cono *O''* vendrán proyectadas en *1-1'*, *2-2'*,... etc., cuales generatrices se trasladarán en el desarrollo tomando sobre la curva *A' B'* elementos iguales á *B'-1'*, *1'-2'*, *2'-A'* y uniendo en la figura del desarrollo cada uno de estos puntos de división con el vértice *O''* obtendremos así señaladas las generatrices *1-1'*, *2-2'*, *3 3'*, etc.

419. **Labra de la piedra**.—(Fig. 214''). Siendo los planos de junta perpendiculares al plano vertical, el sistema más ventajoso para la labra será el que se tome como á base del prisma auxiliar el contorno aparente sobre el plano de proyección vertical; labraremos pues un prisma que tenga por bases la figura *E''' D' b'' a'' E'*, *E'' D'' b' a' E^{IV} E''* y por altura de este prisma el grueso del muro. Se empezará colocando en la cara anterior la plantilla de cabeza *E''' D' B' A' E* deducida de su verdadera magnitud que está en el mismo plano vertical; colocada ya ésta, los lados *D' B'*, *D'' b'* nos dan los justos límites para colocar la plantilla de junta superior que más adelante hemos encontrado en verdadera magnitud (puesto que en este nuestro caso las cuatro juntas son iguales) y así vendrá á situarse en *D' B' b' D''*; del mismo modo partiendo de los lados inferiores *E' A'*, *a' E^{IV}* colocaremos la plantilla de junta inferior en *E A' E^{IV}*. Solo faltará ahora desvastar la parte de piedra que pase por los límites trazados, hasta venir á encontrar la superficie cónica de intrados, para lo cual bastará dividir los arcos *A' B'*, *a' b'* en cuatro partes iguales, y los puntos así señalados unidos dos á dos, cuando la operación del desvaste lo haya permitido nos darán las generatrices de la superficie cónica de intrados, la cual para la debida exactitud se irá rectificando colocando las veces que sea necesario el desarrollo encontrado en la (Fig. 214') hasta que la coincidencia de éste con la superficie labrada llegue á ser exacta.

BOVEDA CAÑONERA

420. Verdaderamente esta bóveda no había de figurar en este lugar toda vez que nos hemos propuesto tratar de las bóvedas simples, siendo compuesta la de que tratamos, más atendiendo su sencillez y ser casi como á consecuencia y aplicación del caso anterior hemos creído conveniente estudiarla á continuación.

Se compone (Fig. 215) de la combinación de dos conos de eje horizontal é invertidos, siendo el uno el proyectado en el triángulo *A v B* y el otro en el triángulo *J V K*, solamente que para reforzar la construcción en el encuentro de estas dos superficies se introduce un cilindro intermedio proyectado horizontalmente en *f F G g* y verticalmente en la semicircunferencia *F' N G'*, según esto se aprovechan no más de las superficies cónicas anteriores, las partes de sus troncos comprendidos entre el cilindro anteriormente expuesto y los planos de paramento, viniendo á proyectarse el cono de vértice *v* en el trapecio *A F G B* en proyección horizontal, y en la proyección vertical en el ánulo indicado por las letras *A' F' N G*, *B' P A'* y otro cono de vértice *V* en el trapecio *J f g K* y en el anillo *J F' N G' K M J*. Como en el caso anterior haremos pasar las juntas continuas por el eje de dichos conos y por cada uno de los puntos de división *C*, *a'*, *b'*, *c'* en que se

ha dividido en número impar de partes iguales el arco de cabeza. Así los planos de junta se proyectarán verticalmente en $H' D'$, $f' a'$, $e' b'$..... etc., que limitaremos á las alturas de los planos de asiento horizontales $Q R$, $D' E'$ y con los planos verticales de junta discontinua $R D'$, $E' E''$. El estudio de una de estas juntas se presenta muy sencillo atendiendo su perpendicularidad al plano vertical, así por ejemplo la junta $H' D'$ corta al plano de paramento anterior, según la recta $C D - C' D'$, al cono de vértice V según la recta ($H C$, $H' C'$), al cilindro intermedio según la generatriz (H', $H H''$) al cono de vértice V según la generatriz $H'' m - H' m'$, al plano de paramento posterior según la recta $m D'' - m' D'$ y finalmente al plano de asiento según la horizontal $D D'' - D'$ siendo según esto la junta en proyección horizontal la figura $C H H'' m D'' D C$ y en verdadera magnitud la señalada por $B D^4 D''' K g G B$ la cual se ha obtenido girando el plano de junta alrededor del eje horizontal del cono hasta tanto que el plano $H' D'$ se haya superpuesto sobre $K D'''$ en el plano horizontal. Aquí también en este caso se ha dispuesto de tal modo el despiezo que las juntas resulten todas iguales.

Como en el caso anterior se señalarán en proyección vertical una serie de generatrices de los dos conos tales serán para el primero las *1-1'*, *2-2'*, *3-3'*, etc., y para el segundo las *1-1''*, *2-2''*, *3-3''*, etc... las cuales servirán de guía en el labrado de las superficies de intrados cónicas.

421. Labrado.—Como en el caso anterior se tomará un prisma (Fig. 215') cuyas bases sean todo el contorno aparente de la proyección vertical $E' D' H' G' E'' E'$ y cuya altura igual al grueso del muro, sobre la cara anterior se colocará enseguida la plantilla $E' D' C' B' E''$ sacada de la proyección vertical y con su auxilio podremos señalar la juntas inferior y superior deducidas más adelante, la primera vendrá á situarse en $E'' B' g g' G E E''$, y la segunda en $D' C' h h' m D'' D'$. Una vez colocadas estas dos plantillas tendremos fijados los dos pares de puntos indicadores $h g$, $h' g'$ por los cuales dos á dos han de pasar las dos curvas $h g$, $h' g'$ del cilindro intermedio, cuales se trazarán en la piedra con el auxilio de una regla flexible que se doblegará hasta hacerla coincidir en su curva en la parte cóncava del cilindro $H' G' G'' H''$ pasando de h á g y de h' á g', marcando inmediatamente sobre su bisel y con un lápiz las curvas mencionadas, las que una

vez marcadas nos darán el límite de la parte $h h' g' g$ del cilindro correspondiente á la piedra. Ya así dispuestas las operaciones tendremos que las curvas $B' C'$, $h g$ serán las directrices del cono anterior y las $m G$, $h' g'$ las del cono posterior. En ellas se marcan los puntos *1*. *2*. *3*... etc, *1''*, *2''*, *3''*... etcétera para el segundo conforme hemos indicado en el caso anterior; desvastando luego la piedra escedente, hasta permitir la colocación de una regla que pase por los puntos pareados correspondientes, llegaremos así á describir las generatrices de los dos conos, que juntas y en número suficiente determinarán los intrados de la piedra quedando así esta terminada en su labrado no sin que antes y en su cara opuesta se haya colocado la plantilla $D'' m G E E' D''$ sacada también de la proyección vertical pero correspondiente al paramento posterior.

Bóveda cónica oblicua con respecto á un muro en talud en donde se encuentra establecida.

422. Se tiene un muro en talud comprendido entre la línea $L T$ y la $M^h M^h$, la primera; traza horizontal de un plano inclinado proyectado horizontalmente teniendo por límites las dos líneas paralelas $L T$, $H I$ y la segunda, traza horizontal de un plano vertical paralelo al de proyección (que aquí no más imaginamos, sin hacer uso de él en virtud de subsanar la omisión, valiéndonos en cambio de rebatimientos como veremos muy luego). En el interior de este muro conviene por un motivo cualquiera establecer un pasage convergente expresado en planta por el trapecio irregular $A B b^3 a^3$ para lo cual precisa cubrir este pasaje con una bóveda cónica de vértice V como punto de concurrencia de los lados laterales, de eje horizontal y oblicua con respecto al muro por encontrarse su eje cortando bajo un ángulo cualquiera, á la traza horizontal del talud. Una nueva línea de tierra tal como $J K$, perpendicular á la cara inclinada del muro nos facilitará el que pase un nuevo plano de proyección vertical por ella cual, rebatiéndolo, nos indicará el talud δ del muro, expresado por el ángulo $K J I''$ cuyo punto I'', representa la proyección vertical de la línea de cresta $I H$, además como este plano inclinado es perpendicular al nuevo de proyección vertical escogido, se inferirá que en este nuevo plano, la inter-

sección de la superficie cónica y juntas con el talud se confundirán todas según la traza vertical $J\ I''$ de dicho plano, lo cual simplificará de una manera notable las aplicaciones.

Engendremos ante todo el cono del íntrados y al objeto de que las operaciones puedan conducirse por medios más expeditos que las faciliten, convendremos que el cono sea de revolución; á este objeto desde el vértice V y con un radio igual á la distancia $V\,B$ (que es la menor de los dos lados laterales $V\,B$, $V\!A$ del triángulo $V\,B\,A$) tracemos un arco de circunferencia hasta que corte en a al lado $A\ \ V$, tendremos formado así un triángulo isósceles el que podrá servir de proyección horizontal de un cono recto que tendrá por eje la recta que une V con el punto O mitad de $a\ \ B$ y cuya base será una semicircunferencia contenida en el plano vertical que se levanta sobre $a\ B$, bastará pues concebir esta superficie cónica convenientemente prolongada y encontrar su intersección con la cara anterior ó sea del talud del muro y luego la vertical posterior para así tener limitado dicho cono.

Todas las operaciones pertinentes al efecto, se llevarán á cabo tomando como á plano de proyección horizontal, el que pasa por el arranque de la bóveda, cual es el que contiene las rectas $V\!A$, $V\,B$; imaginando enseguida el rebatimiento de la base circular alrededor de la charnela $a\ \ B$, cual circunferencia vendrá expresada en $a\ c'\ \ d'\ \ B$, dividida que sea esta circunferencia en un número impar de partes iguales en los puntos c', d', etc., pueden ya estos proyectarse horizontalmente en c, d, etc., que uniéndolos luego con el vértice V nos darán así las generatrices del cono en la proyección horizontal. La intersección de estas con los dos paramentos anterior y posterior se encontrará facilmente en la nueva proyección vertical que hagamos, con arreglo al que hemos escogido para designar el talud, cuya nueva línea de tierra es $J\,K$. Esta proyección es fácil toda vez que queda reducida á cambiar de plano vertical, respecto á los puntos c, d, etc., así pues trazando por las proyecciones horizontales de estos puntos, perpendiculares á la nueva línea de tierra $J\,K$ y tomando sobre ellas hacía arriba desde los puntos de encuentro de la línea $J\,K$ magnitudes iguales á las alturas $c\ c'$, $d\ d'$... etc., llegaremos á obtener los puntos $a'c''\ d''$... etcétera que unidos nos darán una semielipse como á nueva proyección de la base circular de cono, quedando este expresado también en dicho plano uniendo cada uno de los

puntos obtenidos con la nueva proyección del vértice V' situado en la línea de tierra Dispuestos así los datos, la traza vertical $J\ I''$ cortará á dichas generatrices en los puntos $C''\ D''$... etc., cuales proyectados horizontalmente en C, D... etcétera y unidos por un trazo continuo nos darán la curva $A\ C\ D\ B$ como á proyección horizontal y resultado definitivo de la intersección del cono con el plano en talud. Más como quiera que nos convenga más adelante la verdadera magnitud de toda esta cara de paramento inclinado que contiene las caras anteriores de todas las piedras; será muy conveniente rebatirla sobre el plano de proyección vertical al rededor de su traza $L\ \ T$ como á charnela; en este movimiento los puntos A y B son fijos y los intermedíos C, D describen arcos circulares cuyos planos son perpendiculares á la línea de tierra viniendo á colocarse en definitiva en las rectas que parten de C y D perpendiculares á dicha línea, colocándose á la distancia de esta, iguales á los radios de giro cuyos son respectivamente $J\ C''$, $J\ D''$... etc., de modo que tomando estas distancias y colocándolas desde la línea de tierra, hacia arriba, llegaremos á obtener los puntos, C', D'... etc., que unidos nos darán la elipse rebatida en $A\ C'\ \ D'\ \ B$. Para la debida rectificación podríamos proponernos el encontrar las tangentes á cada uno de dichos puntos por ejemplo en el punto C'; la tangente en este punto se encontrará combinando el plano tangente del cono, con el plano en talud que es el de la curva y como el primero viene expresado por su traza en c' tangente á la base circular, tal como $c'\ \ \varepsilon$ cortando en ε á la traza horizontal $a\ B$ de la base, infiérese de aquí que la recta $V\,\varepsilon$ es la traza horizontal de dicho plano tangente, la que prolongada nos corta en m á la línea de tierra. El punto m es pues un punto de la intersección del plano tangente con el de la curva y como C' es también otro resulta ser $m\ \ C'$ la tangente que buscábamos. En cuanto á los puntos de arranque A y B las tangentes pueden aun encontrarse más fácilmente, pues que de hecho las tenemos ya en proyección horizontal en $B\ n$, $A\ q$ en razón á que los planos tangentes en dichos puntos son verticales y por lo tanto aquellas vienen á proyectarse horizontalmente con las trazas horizontales de estos, según esto insiguiendo el movimiento del giro del talud, que hemos efectuado, los puntos n, q situados en la línea de cresta $H'\ I$ irán á situarse en n', q' sobre el rebatimiento de la cresta $H'\ I'$ resultando con esto que las tangentes á los pun-

de arranque serán las $B\ n'$, $A\ q'$. Finalmente la tangente en el punto más alto, esto es, en donde ésta sea horizontal se encontrará también con suma facilidad, observando que tratándose de una curva de 2.° grado, resulta que las tangentes trazadas en los puntos extremos del diámetro $A\ B$ son tales que van á concurrir en un punto V. tal que unidos con el centro O resulta ser un diámetro conjugado con el primero habiéndose de encontrar por lo tanto en él el punto M, puesto que en él la tangente á la curva ha de ser paralela á $A\ B$, esto es, horizontal y como en la proyección auxiliar del rebatimiento visiblemente el punto más alto es M'', nada más fácil según la propiedad anterior que proyectar M'' horizontalmente en M sobre el diámetro $O\ V$ y deducir finalmente de un modo análogo á los demás el punto definitivo M' sobre la curva rebatida.

Los planos de junta pasarán todos por el eje del cono y por los puntos C', D', etc., por los cuales de antemano se ha dividido la curva rebatida en un número impar de partes iguales y así nos darán las líneas de juntas $C'\ E'$, $D'\ G'$... etc., las cuales por orden inversa á las operaciones anteriores se trasladarán á la proyección horizontal en donde se limitarán las cabezas de las dovelas por medio de los planos de asiento $F\ G$, $E\ Z$ y lateralmente con los planos verticales $F\ E$, $Z\ Z'$ quedando así terminadas las cabezas de las dovelas en la parte del talud las cuales se encontrarán en verdadera magnitud en el rebatimiento conforme se ha dicho con todas las demás líneas situadas en dicho plano.

Con respecto á la intersección del cono, juntas y demás con el plano vertical $M^h\ M^h$ del paramento posterior todo se proyecta en la misma traza siendo conveniente el rebatimiento alrededor de la misma de todo este plano vertical pues que en el vendremos á deducir la verdadera magnitud de la curva de penetración así como de las cabezas de las piedras que corresponden á dicho plano. Ahora bien teniendo en cuenta que este plano se proyecta de perfil en $M^V\ M^V$, proyectándose en este perfil los puntos de intersección c^5, d^5... etcétera del mismo con las generatrices del cono, un sencillo rebatimiento de este paramento posterior sobre el plano horizontal según indican las operaciones de la figura nos dará la curva $a^3\ c^4\ d^4\ b^3$ verdadera magnitud de la penetración del intrados con el plano y uniendo cada uno de los puntos así rebatidos con el O'' (que es la intersección del eje del cono con

el plano que se rebate) nos darán sucesivamente las líneas de junta de las dovelas hacia esta parte limitándose por fin las cabezas de las piedras á las mismas alturas y con los mismos planos laterales que ya antes habíamos dispuesto y como conforme muestran las operaciones hechas al efecto.

Ahora es cuando podemos detallar horizontalmente cada una de las juntas como por ejemplo la correspondiente á $E\ C$; en efecto esta corta el paramento en talud según la recta $E\ C$ y al concluir con éste empieza cortando al plano de asiento horizontal según la horizontal $E\ R$ luego corta al paramento vertical posterior según la recta $R\ c^3$ y finalmente cierra la figura cortando al intrados según la generatriz $c^3\ C$, siendo por lo tanto la junta el cuadrilátero $C\ E\ R\ c^3$ pero como que es no más proyección horizontal precisa encontrar su verdadera magnitud y con este objeto la vamos á rebatir en el plano horizontal tomando como á charnela el eje del cono. Al efectuar este rebatimiento el punto C vendrá á colocarse en el punto P sobre la generatriz de arranque girando en un plano $P\ C$ perpendicular á la charnela y teniendo en cuenta que la línea $E\ C$ que se rebate, pasa por el punto O' situado sobre la charnela; este punto siendo fijo nos dará su unión con P la dirección $P\ Q$ de la línea de junta que quedará limitada tomando una distancia $P\ Q$ igual al rebatimiento $C'\ E'$ trazando por Q la $Q\ R'$ paralela á la charnela este será el rebatimiento de la línea de asiento que vendrá limitada en el punto R' por el cruce de dicha línea con la dirección del movimiento que emprende el punto R perpendicularmente á la charnela, el punto c^3 viene á rebatirse en S sobre la generatriz de arranque de modo que uniendo S con R' la línea $R'\ S$ será la recta rebatida correspondiente á la proyección de la representada en $R\ c^3$ de modo que resultará ser la verdadera magnitud de la plantilla el cuadrilátero expresado en $P\ Q\ R'\ S$. De igual modo se encontrarán todas las proyecciones y verdaderas magnitudes de las demás plantillas.

Como aquí en este caso particular el plano vertical que hemos empleado es el de la base circular del cono, cuyo plano discrepa bastante en su dirección de los correspondientes á los dos paramentos resulta que si nos propusiéramos emplear para el labrado de las piedras el sistema de escuadría valiéndonos de prismas cuyas bases fuesen el máximo contorno aparente de cada una de ellas sobre el plano vertical referido, resultaría un desvaste excesivo así como una cantidad

de piedra perdida; he aquí porque conviene y es preferible el sistema de baiveles.

423. Según esto será forzoso encontrar los ángulos diedros más importantes que forman entre sí las caras de la piedra y con este motivo si escogemos la pieza *E' C' D' G' F'* sustituiremos momentáneamente su superficie cónica de intrados por su plano subtendente el cual cortará al talud según la recta *C' D'* cuerda del arco nombrada con estas mismas letras y así las cosas es cuando se concebirá fácilmente que en el punto *C'* se forma un ángulo triedro cuyas caras son la una el plano en talud limitado aquí según el ángulo plano *E' C' D'* igual á α el otro el plano de junta limitado por *Q P S* formando un ángulo plano igual á β y tercero el plano subtendente que pasa por la recta *C' D'* y las dos generatrices del cono que pasa cada una de ellas por cada uno de los puntos indicados limitando el ángulo plano por la inclinación respectiva de *C' D'* con la generatriz del cono que parte del punto *C'* cuyo ángulo llamaremos γ y que deduciremos en el desarrollo de la superficie cónica que vamos á encontrar en la (Fig. 216').

Recuérdese que el cono en su construcción es recto y circular y por lo tanto su desarrollo vendrá expresado por un arco de circunferencia *a c d B* trazado con centro *V* y con un radio *V a* igual á la línea de la misma denominación de la (Fig. 216) tenemos pues en *V a B* la parte de desarrollo comprendida entre la base circular y el vértice, mas ahora lo hemos de terminar en sus justos límites tomando de una parte las distancias $V a^3$, $V c^3$, $V d^3$, $V b^3$ iguales respectivamente á las verdaderas magnitudes de las generatrices en las partes que median desde el vértice *V* á la curva vertical del paramento posterior (cuyas magnitudes se obtienen sobre las plantillas rebatidas $V c^3 = V S$) y de otra tomando las distancias *V A*, *V C*, *V D V B* iguales respectivamente á las generatrices que van desde *V* al plano en talud, cuales se obtendrán en verdadera magnitud sobre las plantillas rebatidas en la (Fig 216) (pues fijándonos en la *V C* ésta tiene por verdadera magnitud la *V P* que es la que colocaremos en la (Fig. 216) de *V* en *C*) así unidos los primeros puntos nos darán en a^3 c^3 d^3 b^3 como á desarrollo de la curva posterior y en *A C D B* el desarrollo de la curva sobre el talud: resulta pues que en *A B* b^3 a^3 se tendrá el desarrollo total de la superficie cónica de intrados y en la parte *C D* d^3 c^3 el parcial que corresponde á la piedra escogida. En esta situación es cuando podemos determinar fácilmente la cara plana subtendente de la parte de intrados que corresponde á la piedra escogida y con ella el ángulo γ que la cuerda *C' D'* forma con la generatriz que parte del punto (*C*, *C'*) en el cono. A este efecto construyamos en la (Fig. 216') el triángulo *V D c"*, cruzando dos arcos en el punto *c"*, que el uno tenga el centro en *D* y de radio la cuerda *C' D'* del rebatimiento de la (Figura 216), y el otro de centro en *V* y de radio $V c'' = V C$; el ángulo $D c'' V = \gamma$ será el que nos interesa para nuestro objeto. Toda la cara plana subtendente está expresada según el cuadrilátero $D c'' c_1 d^3$, determinándose la recta ó lado c_1 d^3, colocando sobre *D V*, *c" V* las distancias $D d^3$, $c'' c_1$ iguales á las verdaderas magnitudes de las generatrices en la parte del tronco de cono que forma el intrados de la bóveda.

Ahora es cuando resolviendo este ángulo triedro (Figura 216") con el auxilio de estas tres caras que tenemos rebatidas unas en pos de otras en α, β, γ, habiendo abierto el triedro por la arista *D C* representando la intersección de las caras subtendentes y del paramento inclinado, por cuya razón esta arista se ha subdividido en dos la una hacia *C D* y la otra hacia *C D'*. Nos proponemos encontrar los ángulos que forman la cara α con la β y la cara γ con la β; á este objeto insiguiendo los procedimientos de Geometría Descriptiva reconstituiremos el triedo haciendo girar las caras α, γ alrededor de las aristas respectivas *C E*, *c s* un punto cualquiera *n*, *n'* situado en las aristas *C D*, *C D'* á igual distancia de *C* pues que representa un punto en una misma arista que se ha abierto en dos, girará describiendo dos arcos de circunferencia verticales proyectados según las perpendiculares *n* ω, *n* ω á las charnelas respectivas *C E*, *C s* los planos verticales del movimiento de estas circunferencias vienen á cortarse en la vertical ω en cuya estremidad es en donde se reunen en el espacio los dos puntos *n*, *n'* para formar uno solo por donde pasa la arista *C D*, *C D'* que se ha colocado ya en el espacio. Recordemos ahora que esta vertical es un cateto de un triángulo rectángulo en que el otro cateto es el trecho comprendido de la perpendicular á las charnelas trazadas desde el punto ω, mientras que la hipotenusa tiene por magnitud la perpendicular trazada desde el punto escogido *n* ó *n'* á dichas charnelas y que en este triángulo el ángulo opuesto al

cateto vertical es precisamente el ángulo diedro; en este concepto rebatiendo uno de estos triángulos alrededor de $n\,\omega$ como á charnela vendrá á situarse en $m\,q\,\omega$ que según lo dicho el cateto vertical se rebatirá en $\omega\,m$ limitado en m por el cruce del arco $n\,q = q\,m$ trazado de centro q y con un radio $q\,n$, así tendremos el ángulo φ diedro correspondiente entre la cara de paramento y la de junta, de igual modo tendríamos el ángulo ψ, diedro de la inclinación respectiva del plano de junta con el subtendente.

Tenemos ya todos los datos suficientes para el labrado de la piedra el cual es como sigue.

424. **Labra**.—(Fig. 216‴). Se escogerá en la cantera una piedra informe aproximadamente de las dimensiones de la pieza que vamos á labrar, aunque con creces bastantes para asegurar la posibilidad del resultado. Se empezará labrando en ella una cara plana colocando inmediatamente la plantilla $E'\,C'\,c\,e$ igual á la encontrada en $Q\,P\,S\,R'$, partiendo luego de distintos puntos de la arista C'-c colocando en ellos baiveles tales como Z cuyos planos se encuentren en dirección perpendicular á dicha arista y cuya abertura sea igual al ángulo ψ, la dirección de sus lados superiores nos irá indicando una serie de rectas paralelas por donde pase el plano subtendente, obteniéndolo con el desvaste sucesivo siguiendo siempre la dirección de los brazos superiores del baivel hasta llegar á alcanzar dicho plano en cuyo caso quedará definido colocando la plantilla $C'\,D'\;d\;c$ igual á la $c''\;D\,d^3\;c_1$ correspondiente á la cara plana encontrada en la Fig. 216′. Si observamos ahora que las líneas $E'\,C$, $C\,D'$ ya colocadas, ellas por si solas determinan el plano del talud, no habrá más que desvastar la pieza hacia esta parte, hasta tener labrado un plano sobre el cual y orientándonos con las líneas $E'\,C$, $C\,D'$ colocaremos la plantilla de cabeza $E'\,C\,D'\,G'\,F'$ la cual nos servirá de base para la colocación de las demás caras; efectivamente las líneas, $D'\,d$ y $G\,D'$ nos determinarán el plano de junta superior sobre el cual colocaremos la junta $G\,D'\,d\,g$ que en su lugar correspondiente habremos encontrado en su verdadera magnitud; la comprobación de este plano con el subtendente podríamos encontrarla con el auxilio del baivel X encontrado como se ha visto más arriba. La línea $G\,g$ y $G\,F'$ nos determinan un plano de asiento horizontal que podemos limitar con la plantilla deducida de la proyección horizontal puesto que allí se encuentra en su verdadera magnitud y así la tendremos situada en $G\,g\,f\,F$, su comprobación podríamos efectuarla viendo por medio del baivel Y, si esta cara responde á la inclinación debida con la cara de paramento en cuyo concepto el baivel podrá ajustarse con arreglo al ángulo π deducido de la proyección vertical auxiliar de la (Fig. 216). En cuanto á la junta vertical $E'\,F\,e\,f$ queda ya completamente deslindada y definida pues su contorno ha quedado dispuesto al colocar las plantillas que le son adjuntas. La comprobación de la cara de cabeza con el plano de junta inferior podrá efectuarse con el auxilio del baivel encontrado en ψ en la (Fig. 216″); adviértese que la base θ posterior de la piedra que resulta en $f\,e\,c\,d\,g$ de haber colocado las respectivas plantillas ha de ser precisamente igual á la obtenida en la (Fig. 216) cuando se ha tratado de rebatir la cara posterior en el plano horizontal por lo cual puede servir también de comprobación siendo factible del mismo modo haber empleado dicha plantilla de base alternando con la colocación de juntas.

Falta solamente descartar el plano subtendente y sustituirlo por la definitiva superficie cónica de intrados lo cual se hará fácilmente si en las curvas $C\,D'$; $c\;d$ se indican puntos $1'$, $2'$, $3'$ y 1, 2, 3, que correspondan á puntos extremos de generatrices, pues entonces no habrá más que tener cuidado al desvastar; hacerlo de modo de ir siguiendo la dirección de estas generatrices, hasta llegar definitivamente á encontrarlas en cuyo caso obtendremos ya la superficie cónica. En cuanto á la manera de situar dichas generatrices obsérvese que en la figura del aparejo (Fig. 216) y en su proyección horizontal se pueden señalar una serie de proyecciones horizontales de generatrices las cuales quedarán limitadas en sus puntos extremos C, D, c^3, d^3 en las curvas de embocadura mas como estos puntos y las plantillas de cabeza de las cuales forman parte se trasladan á la vez á la piedra del espacio, de aquí es que allí tendremos ya señalados los indicados puntos.

Colocación, rectificación y retoque en las Bóvedas cónicas de eje horizontal

425. Vista (núm. 282) la colocación para con respecto á las Bóvedas cilíndricas poco queda que decir al hablar de esta operación referente á las cónicas. La diferencia estriba

en que en las últimas se hace indispensable el empleo de cimbras desiguales dependiendo cada una de ellas de forma y dimensión de los arcos de embocadura y de las secciones producidas en el cono en sitios intermedios. Estas cimbras se dispondrán adoptando exactamente las mismas precauciones que se hizo con los cilindros haciendo uso para la verdadera dirección de las juntas de la *regla de alturas* una para cada sección de cimbra y del regulador de juntas, uno también para cada sección, presidiendo en cada operación los mismos requisitos que se expusieron en el núm. 283.

Retoque.—Después de hecha la rectificación y repicado en las caras de paramento, practíquense en el intrados y muy próximos á los arcos de embocadura, dos ranuras con el auxilio del cincel y tales que sean paralelas á dichos arcos, como producidos por planos secantes.

Estas acanaladuras curvilíneas han de ser de una exactitud precisa pues de ellas depende el éxito del resultado y á este efecto se llevarán á cabo con secciones producidas en la bóveda en proyecciones, acotando todos los puntos, por donde pasan generatrices del despiezo; por medio de abscisas y ordenadas. Dispóngase luego al natural el plano de arranque de la bóveda de modo que esté bien horizontal, ya valiéndose de reglas colocadas horizontalmente paralelas que vayan de una á otra generatriz de arranque, ó ya si tanta exactitud se desea y se quiere operar con comodidad construyendo un entablado ó plataforma auxiliar al nivel del citado arranque. En el hecho que se quiera producir la sección señálese la traza horizontal del plano vertical que la produce colocando sobre ella las distancias correspondientes que concuerden con las abscisas encontradas en el aparejo, según sea la sección (pues todas son distintas aquí según hemos manifestado) levantando luego por cada uno de estos puntos verticales á la altura que nos indiquen las debidas ordenadas, los puntos extremos así obtenidos nos darán los que conciernen á las curvas del retoque para efectuar la acanaladura. Estos pues serán los puntos indicadores que cada serie de ellos nos darán la dirección exacta de las generatrices inclinadas del cono de intrados. Si el paso que hay que cubrir es de poca profundidad, bastarán las dos ranuras extremas, en caso contrario habrá que recurrir á otras intermedias que nos guien mejor en las partes que hay que descargar para descubrir con mas ventaja las generatrices cuales se obtendrán con el uso

de largas reglas inclinadas en el sentido de aquellas que irán indicando, en el obstáculo que se oponga á su yuxtaposición la parte de excedencia de piedra que hay que desalojar para obtener la continuidad de la superficie de intrados.

Estas secciones hemos dicho las emplearíamos paralelas á los paramentos; sin embargo hay autores que opinan es preferible en casos generales producirlas por planos perpendiculares al eje horizontal de la Bóveda; máxime si esta es de revolución y al mismo tiempo se presenta en esbiage para con respeto á las caras de paramento, pues como entonces las juntas se dirigen por los radios de la circunferencia de base ó sea verdadera directriz á la cual conservan la normalidad dichos radios hay más garantía de éxito por ser factibles una serie de comprobaciones, ya por la generación misma, ya por las propiedades de normalidad, ya también con la dirección de las líneas de junta en los paramentos, las que como es sabido dependen de la concurrencia de los planos de junta hacia el eje de la Bóveda.



CAPITULO DÉCIMOQUINTO

CAPIALZADOS

426. Llámase capialzado á ciertas construcciones especiales dispuestas en la parte superior de las grandes puertas, portales ó entradas al objeto de dar más grandiosidad al conjunto al mismo tiempo y este es el motivo principal; para que siendo suficientemente elevada y constituyendo bóveda permita que las dos medias hojas de la puerta giren libremente alrededor de sus goznes y no encuentren ningún obstáculo que se oponga al movimiento hasta poder rebatirse sobre los planos laterales del muro.

Son de varias clases, dependiendo en general de la forma que se quiera dar á la abertura y del género de las superficies que se empleen para la formación de la bóveda, superficies que precisamente constituyen el verdadero capialzado.

Así hay capialzados en superficie alabeada, en superficie desarrollable, en superficie envolvente; los veremos por su orden.

Capialzado de Marsella

427. Objeto del problema.—En esta puerta el capialzado está formado por una superficie alabeada. En la (Fig. 217, Lám. 41) se representa en perspectiva la mitad del mismo y la construcción total de la puerta está comprendida entre dos planos verticales y paralelos *I, J* y se compone de tres partes

que son. 1.° De un pequeño cañón seguido de reducido grueso *A* ó sea la embocadura de la puerta propiamente dicha, correspondiendo en la línea de fachada ó paramento anterior; siendo una sección recta de este cilindro un semicírculo *a b c*. 2.° De una parte en resalto en ángulo recto *B'-B* formada por una cara plana *B'* paralela al muro y por otro cañón cilíndrico *B* concéntrico al primero, excediendo algún tanto el radio de éste; esta parte en resalto es lo que se llama la *mocheta* y está destinada á recibir las dos medias hojas de la puerta para sujetarla en sus goznes. El círculo *d e f g* es lo que se llama *arco ó círculo de mocheta*, y 3.° de una parte que se proyecta en planta bajo la forma de trápecio, especie de paso, que va ensanchándose hacia la cara ó paramento posterior del muro, limitando dicho paso dos planos *h k* verticales y divergentes hacia el interior y son los que se llaman planos de *derrame ó derrames simplemente*, mientras que superiormente está cubierto y terminado por una superficie alabeada cortando y partiendo de dichos derrames, razón por la cual se conoce también con la denominación de *derrame superior* pues que efectivamente se ensancha hacia el interior como las jambas.

Esta superficie cuya mitad está representada en *d l-p m q g f e d* es precisamente la que es objeto principal del capialzado, elevándose paulatinamente y de manera á permitir que las dos hojas de la puerta hagan con toda libertad el giro, no encontrando ningún obstáculo en su camino que se oponga al mismo, hasta que concluyen el movimiento al superponerse sobre las caras verticales de derrame.

Hay constructores que al llegar al trazo de esta tercera parte y predominando en su ánimo la idea del lucro, no atienden á que dicha superficie sea construída de una manera conforme y regular obedeciendo á principios fijos y exactos que les acarrearía mucha mano de obra y en este objeto se permiten de momento prescindir de ella colocando las dovelas formando arco, sin labrar en la parte posterior para luego al tener montado el conjunto proceder al desvaste en obra hasta llegar á tener una superficie aproximada al capialzado, que empieza y termina en los arcos señalados de antemano en el plano de mocheta y en el de parte posterior del muro. (*) Más

(*) (Y esto aún no siempre así, pues que á veces llega esta libertad á tal extremo llevada, que vaya en osadía y falta de conciencia limitándose no más á desgajar

este modo de hácer puramente empírico y dejado al capricho y como vulgarmente se dice al ojo de buen cubero del oficial encargado de efectuar dicha faena es á todas luces defectuosa y abusivo y al cual no ha de conllevar ni permitir el Arquitecto bajó el cual se efectúan los trabajos.

428. Esta superficie alabeada tiene tres directrices que son: 1.° El eje común de los dos pequeños cañones A y B cual es una recta perpendicular á las caras de los paramentos; 2.° La semicircunferencia $d\ e\ f\ g$ de la mocheta y 3.° una línea compuesta de dos partes $l\ p\ m$, $m\ q\ g$; la primera es un arco de circunferencia, situado sobre el paramento posterior del muro y teniendo por centro un punto colocado en prolongación inferior de la vertical $l\ L$ que corresponde á la línea eje y de simetria de la proyección vertical de la puerta, situado dicho punto bastante debajo á fin de obtener una curvatura que no sea demasiado acentuada. La segunda es la curva $m\ q\ g$ dibujada sobre el plano vertical del derrame C; esta curva ha de ser tal que las dos partes de la superficie alabeada ó por mejor decir las dos superficies alabeadas que corresponden la una á la directriz $l\ p\ m$ y la otra á la directriz $m\ q\ g$, se acuerden á lo largo de la generatriz común que pasa por el punto m. Y esto es de lo que nos vamos inmediatamente á ocupar.

429. Cuestión teórica.—*Acuerdo de las dos superficies alabeadas que constituyen el capialzado.*—Escojamos como á plano de proyección horizontal el plano de arranque (Fig. 218) colocando en él las rectas paralelas indefinidas $A\ B$, $G\ H$ representando los planos verticales que comprenden la construcción de cantería que nos ocupa, el eje $O\ O_1$ de la puerta y el contorno quebrado $A\ A_1\ C\ C_1$ dispuestos simétricamente á uno y otro lado del eje $O\ O_1$ cual configuración nos representará la huella ó traza de las jambas ó montantes; la línea $C_1\ G$ ha de ser cuando menos igual al radio $O''\ D_1$ de la circunferencia de la mocheta. Así dispuestos estos datos escojamos un plano vertical $L'\ T'$ perpendicular al eje de la puerta

---

los segmentos triangulares laterales que se oponen al movimiento del giro de las dos hojas, tanteándolas en su giro en distintas posiciones y viendo cual es la estricta parte de la piedra que impide este movimiento, descartándola sobre la marcha, resultando con esto un intrados discontinuo afeado por las irregularidades de sus distintas secciones y fraccionamientos sin orden ni plan determinados.)

dibujado en él de modo que se correspondan con las líneas trazadas horizontalmente, las circunferencias $A'\ F'\ B'$, $C'\ P\ D'$ que representan las secciones rectas de los cañones concéntricos de la puerta y la mocheta, las verticales $H'\ a''$, $G'\ \alpha$ que provienen de la intersección del plano de paramento posterior con los derrames laterales y en fin un arco de circunferencia $G'\ Q\ H'$ de un gran radio cuyo centro ω se sitúe sobre la vertical $Q\ O\ O_1$ y cuyo punto más alto Q sea tal que la distancia $Q\ P$ esté comprendida entre la mitad y el tercio de la profundidad $O''\ O_1$ que limite la parte del derrame. Esta circunferencia colocada sobre el plano vertical $G\ H$ del muro y que llamaremos arco de cabeza es la tercera directriz de la primera superficie alabeada; las otras dos directrices son el eje $O\ O_1$ y la circunferencia $C'\ P\ D'$ de la mocheta.

Se obtienen fácilmente generatrices de esta superficie alabeada observando que todas teniendo que resbalar sobre la recta $O\ O_1$, que se proyecta en el punto O' en el plano vertical resultará, que todas las generatrices en esta proyección pasarán por dicho punto O'. y estarán contenidas en planos perpendiculares al plano de proyección vertical, así que indicando los puntos 1, 2, 3, 4,..... etc., sobre el arco $G'\ Q\ H'$ y llevando la concurrencia en O' las líneas 1-1, 2-2, 3-3, 4-4, 5-5,..... etc., serán las generatrices de la superficie alabeada, cuales se apoyarán sobre dicho arco $G'\ Q\ H'$, sobre el $C'\ P\ D'$ y sobre la recta O' perpendicular al plano vertical. Estas generatrices vendrán á proyectarse horizontalmente en $1'$-$1'$, $2'$-$2'$, $3'$-$3'$, $4'$-$4'$..... etc., con solo proyectar cada uno de los primeros puntos de la proyección vertical en las líneas directrices que les corresponde de la proyección horizontal.

Así podríamos trazar todos los demás hasta alcanzar á los puntos extremos $G'\ G$, $H'\ H$ en cuyo caso su lugar geométrico nos dará toda la superficie alabeada que cubre la figura trapecial de la proyección horizontal $5'\ G\ H\ M'$ restando sin cubrir (por estar terminada la directriz $G'\ H'$ en los extremos G', H') los espacios triangulares $5'\ C_1\ G$ y $M'\ H\ D_1$ destinando á ser cubiertos por la segunda superficie alabeada que vamos á introducir.

Esta nueva superficie conserva de la primera las dos primeras directrices, esto es el eje O'-$O\ O'$, y el arco de mocheta $P\ M\ D'$, varía solamente la tercera que ha de estar colocada en el plano del derrame y que llamaremos directriz del derrame superior lateral, y que partirá de los puntos H', G' en

donde concluye la directriz ó arco de cabeza de la primera. La primera condición que se impone á la nueva directriz es que sea tal que permita que las dos superficies alabeadas se acuerden á lo largo de la generatriz común H' M O'.

Al efecto recordemos que para que dos superficies alabeadas sean de acuerdo á lo largo de una generatriz es preciso que tengan tres planos tangentes comunes en tres puntos situados sobre dicha generatriz; esto es, un plano común en cada punto. Pues bien, siendo en nuestro caso la O' H' la generatriz común, tenemos de momento que en el punto O'-O''' y en el punto M-M' los dos planos tangentes ya reunen esta condición puesto que la directriz y generatriz correspondiente son las mismas para las dos superficies; falta pues solamente verificar la condición en el punto H', en el cual el plano tangente á la primera superficie ya engendrada, viene determinado por la misma generatriz O' H' y la tangente H' t á la curva de cabeza; de donde se infiere que la curva incógnita que buscamos ha de cumplir con el requisito de que su tangente en el punto H' esté contenida en el plano tangente O' H' t. Mas por otra parte como que la curva que buscamos ha de estar situada en el plano vertical de derrame, en dicho plano también ha de estar contenida su tangente. Luego de aquí se infiere que esta tangente quedará conocida encontrando la intersección de los dos planos en donde está contenida, cuales son el vertical de la curva de cabeza, y el vertical del derrame. De esta recta de intersección tenemos ya conocido un punto que es el H', falta solamente encontrar otro que se hallará con suma facilidad. Escojamos para esto un plano auxiliar, que aquí el más conveniente es el vertical que se levanta sobre C_1 D_1 que contiene uno de los arcos de mocheta, en atención á que corta al derrame según la vertical D_1 D', en este estado se desprende que el plano tangente t H' O' cortará al plano vertical antedicho según una línea M N paralela á t H' por haber cortado dos planos paralelos (el de cabeza y el de mocheta) por un tercero (el tangente en el punto H'). Pero la línea M N corta á la vertical D_1 D' en el punto N resultando así este estar situado á la vez en el plano tangente y en el de derrame, luego es un punto de intersección de los dos y uniéndolo según esto con H' nos da la recta N H' para la tangente á la curva incógnita. Bastará pues construir una curva tal que sea tangente en el punto H' á la recta N H' así como tangente en D' á la vertical D N'.

430. Para llevar á cabo esta importante operación haremos girar el plano de derrame D_1 H alrededor de la vertical D_1 hasta que sea paralelo al plano de proyección vertical en D_1 H^{IV} proyectándose así en este plano el cuadrante D^{i} z P' que representa la media hoja de la puerta rebatida y llevado consigo en el giro del derrame y en cuanto á la tangente encontrada anteriormente en N H' viene á rebatirse en N H'''. Ahora por medio de una curva de dos centros se podrá resolver la cuestión. Como que la curva ha de ser tangente en H''' á la recta N H''', su centro ha de estar situado sobre la perpendicular H''' ψ á la N H''', á la vez ha de ser tangente en un cierto punto de la línea del cuadrante lo cual indica que su centro también estará situado sobre la prolongación de un radio de dicho cuadrante, infiriéndose de aquí que la determinación del centro incógnito X de la curva nos lo dará la construcción de un simple triángulo isósceles construído del siguiente modo. Tómese H''' U igual al radio D' O^{VI} del cuadrante, únase O^{VI} U y por el punto U medio de O^{VI} U diríjase á esta una perpendicular hasta que corte á la prolongación H''' U en el punto X y uniendo finalmente X con O^{VI} prolongaremos la línea que así resulta hasta que venga á cortar en z al arco del cuadrante, así habremos construido el triángulo isósceles H''' X z y con su auxilio el arco z H''' tangente á la recta N H''' á la vez que en z al arco D' z correspondiente á una parte del cuadrante, resultando así finalmente la curva H''' z D' compuesta de otras dos curvas tangentes de centro X la primera y de centro O^{VI} la segunda siendo la correspondiente al derrame y que ahora cumplirá ya la condición de prestarse á ser tercera directriz de la segunda superficie alabeada que acordará perfectamente con la primera.

431. Una vez efectuadas estas operaciones coloquemos el plano de derrame y todas las construcciones que en él hayamos efectuado, en su verdadera posición, para lo cual el punto H''' volverá á colocarse en H', todo otro punto tal como z, describirá un arco tal como z'' z''' colocándose en definitiva en z', proyección vertical de z'''; así la curva del derrame vendrá proyectada verticalmente, lo propio que su simétrica en las líneas H' z' D', G' 6 C'. Haciendo resbalar ahora la generatriz por la recta O O_1 por el arco D' I' P C' y por la nueva directriz H' z' D' engendraremos la segunda superficie pudiendo cubrir ya los espacios triangulares de la

proyección horizontal tales como $G\,C_1\,5'$, $H\,D_1\,M'$ siendo una de sus generatrices la recta $L\,a$-$L_1\,a''$ y $6\,6$, $6'\,6'$.

432. Aparejo, plantillaje y labra.—Siendo la superficie de intrados alabeada y reuniendo la condición de tener una directriz perpendicular al plano vertical, facilita esta propiedad la disposición del despiezo en virtud de que los planos de junta, pasando por la directriz rectilínea, serán perpendiculares al plano vertical, cortando cada uno de ellos según una recta á dicha superficie alabeada. Dividiendo pues el arco de mocheta $C'\ P\ M\ D'$ en un número impar de partes iguales $D'\,L$, $L\,I'$... etc., y haciendo pasar los planos de junta $E'\ Y'$, $F'\ K$... por los puntos de división, los limitaremos en las horizontales $K\,f$, $Y'\,\delta'$ y las verticales $f\ Y'$, $\delta\,\delta'$; las primeras que representarán planos de asiento y las segundas límites de juntas discontinuas, de modo que el contorno aparente de la contraclave, por ejemplo, afectará la forma del pentágono irregular $F'\ K\,f\ Y'\,E'$ y el salmer la figura que nos dá el contorno $E'\,B'\,\delta\,\delta'\,Y'$.

Si hacemos atención en el modo como corta uno de estos planos á las superficies que atraviesa, podremos ir formando la plantilla que corresponde á esta junta. Fijándonos por ejemplo en el plano $E'\ Y'$ empieza cortando el cañón de entrada según la generatriz ($E' - E\,E_1$), corta luego según la línea ($E'\,L$ — $E_1\,L_1$) al plano $C\,D$ de la mocheta, sigue cortando al cilindro de mocheta, según la generatriz ($L_1\,L_1$, L) enseguida viene la segunda superficie alabeada á la cual corta según la generatriz ($L\,a$, $L_1\,a''$) al plano vertical de derrame según la recta ($a\,R' - a''\,H$) al paramento posterior en la ($R'\ Y' - H\ Y'''$) al plano de asiento horizontal $Y'\ \delta'$ según la horizontal $Y'''\ Y$ y finalmente al plano vertical del paramento anterior según la recta ($Y'\,E' - Y\,E$) quedando por lo mismo cerrada la figura y proyectada horizontalmente la plantilla en $E\,E_1\,L_1\,L_1\,a''\,H\,Y'''\,Y\,E$. Falta ahora encontrar su verdadera magnitud, cuya operación llevaremos á cabo haciendo girar su plano alrededor del eje $O\,O_1$ hasta quedar rebatida en el plano horizontal; en este movimiento todo punto de la plantilla tal como $a - a''$, describen arcos de circunferencia paralelas al plano vertical, tales como $a'\,a^{IV}$, $a''\,a'''$ rebatiéndose en definitiva en a''', el punto R' se rebatirá en R''' la horizontal Y' vendrá á hacerlo en $Y^4\ Y^5$, la $E'\ Y'$ en $B\ Y^4$, el resalto $E\,E_1\,L_1\,L_1$ se rebatirá confun-

diéndose con la huella del pie derecho en su resalto $B\,B_1\,D\,D_1$ y finalmente la generatriz $L\,a\,L_1\,a''$ vendrá á colocarse en $D_1\,a'''$, así tendremos la plantilla en verdadera magnitud, expresada en el contorno $B\,B_1\,D\,D_1\,a'''\,R'''\,Y^5\,Y^4\,B$. Se concibe que de igual modo encontraríamos la proyección horizontal de la segunda plantilla $F\,F_1\,I\,I_1'\,J\,K''\,K'\,F$, así como su rebatimiento en $B\,B_1\,D\,D_1\,J'''\,K'''\,K^4\,B$. Téngase en cuenta que la cara de derrame queda dividida en dos partes por la junta $a\ R'$ en que una de ellas la triangular $H'\,a\,R'$ está formando parte de la contraclave y la otra en forma de polígono de cuatro lados $a\,z'\,D'\,a''\,R'$ la lleva consigo el salmer estando las dos proyectadas en verdadera magnitud en el rebatimiento que antes se ha hecho para el derrame señalada la una con la parte rayada en $H'''\,R\,a'$ y la otra, la que subsiste sin rayar en $R\,a'\,z\,D'\,h$.

Con semejantes detalles se puede ya labrar la piedra escogiendo un prisma cuyas bases sean el contorno aparente de toda la piedra en el plano vertical $F'\ K\,f\ Y'\,E'\ F'$ y la altura; el grueso $O\,O_1$ del muro, sobre la cara posterior Fig. 218' se podrá colocar inmediatamente la plantilla que ya tenemos en verdadera magnitud en el plano de proyección vertical $R'\,H'\,J'\,K$, $f\ Y'\ R'$; sobre el plano de junta superior $J'\,K\,K$ puede dibujarse la plantilla $J'\,K\,K'\,F\,F_1\,I_1'\,I\,J'$ que hemos encontrado en verdadera magnitud anteriormente; orientándonos para su colocación con las rectas $K\,J'$, $K\,K'$ de modo que coincidan con las líneas homólogas de la plantilla; iguales cuidados se observarán al colocar enseguida la plantilla de junta de la cara inferior $R'\,a''\,L\,L_1'\,E_1\,E\,Y\,Y'$.

Desde el punto F al E, colóquese en la parte cóncava del cilindro de intrados una cercha $F_1\,E_1$ cortada según el arco $F\,E$ y el límite cilíndrico $F\,F_1\,E_1\,E$ será el cilindro que corresponde á la embocadura de la puerta. Inmediatamente con la curva $F_1\,E_1$ y las rectas $F_1\,I_1'\,E_1\,L_1'$ lábrase el plano que pase por ellas hasta que en él pueda colocarse la plantilla $E_1\,F_1\,I_1'\,L_1'$ que puede deducirse de la proyección vertical porque allí está su verdadera magnitud. Ya trazado éste con el auxilio de las rectas $I\,I_1'\,L\,L_1'$ tomándolas como á directrices podemos ir con lentitud devastando la piedra é ir colocando ó resbalando sobre ella una cercha cortada según el arco $I_1'\,L_1'$ hasta llegar á la posición última $I\,L$ en cuyo caso quedará ultimado el cilindro de mocheta $I\,L\,I_1'\,L_1'$.

Antes de pasar adelante conviene auxiliados de la verti-

cal H' R' y la horizontal R' a'' de hacer pasar por ellas un plano vertical; más avanzando el trabajo con mucho cuidado hasta que en la brecha abierta en la piedra permita la colocación de la plantilla R' H' a'' que tenemos en verdadera magnitud rebatida con el plano de derrame. Esta parte triangular colocada será la porción de derrame que lleva consigo nuestra piedra. Viene finalmente el labrado de la superficie de intrados, alabeada cuyas generatrices se apoyan sobre los puntos de las curvas H' a'', H' J', I L y para eso todo quedará reducido á dibujar una serie de generatrices en la proyección vertical y horizontal de la piedra, señalando de una manera bien clara los puntos dos á dos que en sus extremos se apoyan en dos de estas curvas, marcándose sucesivamente las extremidades de una misma generatriz con los mismos números, así tendremos en la proyección vertical las generatrices *1-1'*, *2-2'*, *3-3'*..... etc., é igualmente en el plano horizontal. Más al deducir cada una de las plantillas en los bordes correspondientes de las mismas se marcan las divisiones que producen cada uno de estos números, indicándolas también con los mismos números, los cuales se traslada al igual que los patrones cuando se colocan.

Efectuadas estas operaciones, todo ya queda reducido á desvastar lo excedente de la piedra hasta tanto que pueda con toda exactitud aplicarse la regla sobre los puntos *1-1'* *2-2'*, *3-3'*,..... etc., quedando así terminada la labra.

433. Parte complementaria.—*Posibilidad de que tenga lugar el libre giro de las dos medias hojas de la puerta.* No basta para la resolución de este problema el empleo de una especial curva de derrame que obedezca á la condición de que las dos superficies alabeadas sean de acuerdo á lo largo de la misma generatriz. Se concibe que si en la Fig. 218 cuando hemos hallado el rebatimiento del derrame junto con la hoja de la puerta y se ha hecho defender en este plano el trazo de la curva de derrame H''' a' z D', de su tangente H''' N encontrándose ésta superiormente colocada con respecto al cuarto de círculo de la puerta, no habrá ninguna dificultad en que ésta efectúe su giro hasta llegar al derrame, mientras que si el punto N se hubiera encontrado en situación tal, por estar muy bajo, que unido con H''' hubiera dado la recta N H''' que cortara á dicho cuadrante, claro está que entonces la superficie producida se encontraría más baja que el curso del

movimiento de la puerta y ésta encontraría el obstáculo que impedir la debería deteniéndola en su curso para no dejar alcanzarla el plano de derrame. Si pues de haber hecho todas las operaciones que han precedido al trazado de la superficie alabeada ocurriera que ésta no cumple con el imprescindible requisito de permitir el libre movimiento antedicho, resultaría ser inútil para el objeto esencial por el que se construye. Conviene pues cerciorarnos de si permitirá la condición antedicha y por lo tanto si servirá para los fines á que dicha superficie formando bóveda se la destina.

Dos medios pueden emplearse á este objeto. El uno *á posteriori* esto es, simplemente de prueba, aprovechando todas las operaciones que se han hecho hasta obtener la superficie alabeada y ensayando en ella si será ó no utilizable y el segundo *á priori* encontrando previamente antes de hacer ninguna operación el problema general, una altura límite á partir de la cual sepamos que toda otra altura mayor ó menor que ella, permitirá ó no el libre movimiento de las dos medias hojas; este último método es el conocido por el de la *curva límite*.

434. Primer método.—(Fig. 218). Supongamos que se han trazado las proyecciones del capialzado y queremos tener el convencimiento que todos los puntos de la circunferencia C' P D' no van á ser interrumpidos en su movimiento de giro. Ensayemos por ejemplo el punto *2-2'*. Dispongamos al efecto una serie de generatrices de la superficie alabeada *3-3*, *4-4*, *5-5*,.....etc. Al girar el punto *2* describirá una circunferencia horizontal *2' h s*, pero este mismo plano cortará á las distintas generatrices que antes se han trazado en los puntos *m*, *n*, *p*, *q*, *r*, resultando que este mismo plano contendrá la curva *m n p q r* intersección con la superficie alabeada, así como también la curva *2' h s* intersección de este plano con la superficie tórica, resultando con esto que si estas dos curvas no se cortan antes del plano vertical de derrame C_1 G esto con evidencia indicará que el punto escogido *2* recorrerá su giro sin encontrar la superficie alabeada superior y por lo tanto la daremos como buena para este punto. Escogiendo ahora otros puntos *3*, *4*, *5*, etc. y repitiendo dicha operación para cada uno de ellos concluiríamos si en ellos suceden iguales accidentes que la superficie será admisible en su totalidad: en caso contrario habremos de cambiar las primitivas

curvas directrices elevándolas y repitiendo análogas operaciones, hasta encontrar el resultado apetecido.

435. Segundo método—*Curva límite del capialzado de Marsella.* (Fig. 219, Lám. 42). La media hoja de la puerta al girar alrededor de la vertical C' describe una superficie tórica; si á ella logramos circunscribirla tangente otra superficie reglada cuyas generatrices partan de cada uno de los puntos iniciales I-I', H-H', G-G' etc., claro está que esta segunda superficie siendo tangente á la primera hacia la parte superior suficientemente prolongada irá aumentando en altura á partir de los puntos de tangencia, excediendo á la superficie tórica cortando en su virtud al plano de paramento posterior según una cierta curva cuyos puntos tendrán mayor altura que el arco de circunferencia horizontal descrito por el punto culminante del cuarto de circunferencia de la puerta. Además todo punto de ésta al describir su debido arco circular de giro, éste también por construcción tendrá todos sus puntos más bajos que la generatriz correspondiente de la superficie reglada que hasta cierto punto podemos decir cabalga sobre la tórica y como quiera que la primera es tangente á la segunda, es que se dice que es límite de los puntos de altura y de aquí que provenga el nombre de curva límite á la obtenida en la intersección de ella con los planos de paramento y de derrame.

Llevemos según ello á cabo las operaciones necesarias. Describamos ante todo las proyecciones horizontales y verticales de los distintos paralelos de la superficie anular descritos por los varios puntos situados en el cuadrante $N\ C$ que vendrán expresados en proyección vertical por rectas horizontales y horizontalmente por distintas circunferencias como es de ver en la figura de referencia. Escogiendo ahora un punto G-G' y trazando por él un plano $Q\ G\ O$ perpendicular al plano vertical, este plano cortará al toro en sus distintos paralelos en los puntos a-a', b-b', c-c', $d\ d'$, que unidos darán por resultado la curva $a'\ b'\ c'\ d'$ á la cual será fácil trazar desde el punto de partida G' una tangente $G'\ e'$, la cual prolongada superiormente cortará al plano de paramento posterior según un punto $Q\ Q'$. Se concibe ahora que esta operación la podemos repetir tantas cuantas veces se escojan nuevos puntos iniciales en el arco de la puerta obteniendo así una serie de tangentes que todas reunidas formarán un lugar

geométrico, constituyendo la superficie reglada de que antes se ha hecho mención obteniendo así la curva $M\ R\ N$ para la intersección de ella con el plano de paramento posterior. Mas en algunas de estas operaciones no deja de llamar la atención la particularidad de que en alguna de estas tangentes tal como la $I'\ M'$ que lo es á la curva $I'\ \alpha\ d$ si bien corta en el punto M al plano posterior ó de cabeza, corta sin embargo antes en el punto J' al plano vertical del derrame indicándonos con esto, que el punto útil ha de ser el punto J', pues no gira hacia más allá de éste el punto correspondiente de la puerta pero como la curva de intersección $I'\ z'\ M'$ corta al derrame, en un punto z. z' más alto aun que el J, podemos emplear con más ventaja el punto z para la formación de la segunda curva haciendo lo mismo con los demás que la componen: uniéndolos, obtendremos así la curva $R\ z\ C$ y será el límite inferior de todas las directrices curvilíneas que son susceptibles de ser escogidas para el engendro de la superficie de nuestro capialzado.

Encontrada ya ésta, será fácil la adopción definitiva de las verdaderas directrices que se trata de emplear. Al efecto rebatamos el plano de derrame junto con la parte de curva límite que contiene, hasta que sea paralelo al plano vertical y al objeto de hacer más claras las operaciones tomaremos en cuenta el plano vertical de derrame $D'\ F'$, así es que el punto D' quedará inmóvil en D, el punto F' girará y se colocará en R' á la altura de la horizontal que pasa por el punto R, el punto z' irá á colocarse á la altura de z^{IV} que corresponderá á la horizontal que pasa por el punto z y así los demás, la curva será pues $R'\ z^{IV}\ D$. Sobre la vertical que pasa por el punto R' escojamos un punto cualquiera F'' trazando por él una recta tal como $F''\ S$ trazada superiormente al arco límite R', $z^{IV}\ D$ que corte á la vertical de giro que pasa por el punto D en un punto S más bajo que el punto V (el punto V es el obtenido por la intersección de la generatriz $F\ O$ con la directriz $N\ D$ después de haber llevado F'' en F), en este estado es que podremos construir una curva de dos centros tangentes respectivamente en F'' y D á las rectas $S\ F''$ y $S\ D$ conforme se ha reseñado en su correspondiente lugar ó bien podemos componer esta curva de una línea mixtilínea compuesta de una parte $U\ F''$ de la primitiva tangente $S\ F''$ y de una curva tangente en U y tangente en D que es la solución adoptada en este caso.

Tal como hemos llevado estas operaciones se infiere por lo dicho en el núm. 429 que la recta $V S$ no es más que la intersección del plano tangente á las dos superficies alabeadas con el plano de la curva de mocheta, mientras que por otra parte dicha recta es paralela á la tangente del arco de cabeza correspondiente al punto extremo F, infiriéndose de aquí que si por el punto F se traza una recta $F t$ paralela á $V S$, aquella nos indicará con la dirección de su perpendicular $F \omega$, el radio $F \omega$ y el centro ω que corresponderá á la directriz circular $F Y$ del arco de cruce.

CAPIALZADO DE MONTPELLER

436. Este capialzado se distingue del de Marsella en que la primera curva directriz de la superficie alabeada se sustituye por una recta horizontal, en cuanto al resto todo queda exactamente igual que lo visto en aquél, inclusas todas las operaciones que se suceden durante la resolución del problema. La averiguación de la segunda directriz sigue del mismo modo las consideraciones allí expuestas con sólo tener en cuenta que en el caso actual (Fig. 220) la recta $g k$, intersección del plano tangente en el punto b', con el plano de circunferencia de mocheta es horizontal en lugar de estar inclinada al horizonte, más esto no es óbice para que quede igualmente determinada la recta $k b'$ que ha de ser tangente á la curva del derrame que se traza con iguales procedimientos. En la figura 220' está representada la piedra M completamente labrada, engendrándose la superficie alabeada por medio de varias generatrices *1-1*, *2-2*, *3-3*..... etc., que se apoyan respectivamente sobre las curvas $a t$, $r s$ y la recta $a q$.

Sin embargo, en este nuestro caso las condiciones de posibilidad del movimiento de la hoja de la puerta, de modo que no quede interrumpido en su camino, puede encontrarse por un sencillo procedimiento analítico. (*)

(*) Concibamos (Fig. 220) una superficie alabeada engendrada por una recta que se apoye sobre la recta $c o$ situada en el plano horizontal, perpendicular á la línea de tierra $O' A'$, sobre una semicircunferencia de centro O, O' y radio $O A$, cuyo plano se confunda con el vertical $O A$ que tomaremos como el de proyección y sobre una tercera recta $a b$, $a' b'$ paralela á la línea de tierra á una altura que llamaremos h.

CAPIALZADO DE MARSELLA

SEGUNDA SOLUCIÓN MODIFICANDO LA SUPERFICIE DE INTRADOS.

437. (Fig. 221). Los datos son los mismos que los de la (fig. 218) por lo que omitiremos enojosas repeticiones; variará en este caso la generación de superficie del intrados pero el resto de la figura será exactamente igual en un todo á lo dicho en el capialzado de Marsella expuesto en primer lugar. Según esto nos limitaremos en el actual ejemplo á exponer la generación de la nueva superficie que vamos á sustituir á la alabeada. Dicha superficie puede estar clasificada dentro del género de las envolventes, lugar geométrico de las posiciones que ocupa en el espacio una línea que va moviéndose impuesta con ciertas y determinadas condiciones y

---

La superficie de revolución descrita por el cuarto de círculo $A' S$ girando alrededor de la vertical $A Z$ debe encontrarse debajo de la superficie alabeada.

Los ejes coordenados rectangulares son: $A x$, $A y$, $A z$. La recta $A b$ hace con $A x$ un ángulo de derrame representado por I.

Además se supone que $O A$ es igual á la unidad y que $O A = A b = 1$. En estas condiciones se tiene.

$$c b = 1 + sen\, I, \quad A d = cos\, I$$

Trácese por $c O$ un plano cuya traza vertical sea $O' m$; este plano corta al arco $A S$ en el punto m y á la recta $(c b, c' b')$ en el punto (n, n'). Las proyecciones de una generatriz de la superficie alabeada son $(p n, m n')$. La traza $O' m$ hace con $A y$, un ángulo φ, su ecuación es; $z = - tang.\, \varphi .\, y + tang.\, \varphi$.

Las coordenadas del punto (n, n') son

$$x_2 = cos\, I \quad , \quad z_2 = h \quad , \quad y_2 = 1 - h\, cot\, \varphi$$

Las coordenadas del punto m están expresadas por

$$x_1 = 0 \quad , \quad y_1 = 1 - cos \varphi \quad , \quad z_1 = sen\, \varphi$$

de donde resulta que las ecuaciones de la generatriz pasando por los puntos m, (n, n') serán:

$$y = \frac{cos\, \varphi - h\, cot.\, \varphi}{cos\, I} .\, x + 1 - cos\, \varphi \quad , \quad z = \frac{h - sen\, \varphi}{cos\, I}\, x + sen\, \varphi$$

El arco $A S$ girando en torno de $A z$ para ir á sobreponerse sobre la cara vertical del derrame $A b$, lo hace de modo que uno de sus puntos tal como el m, describe una circunferencia cuyas ecuaciones son.

$$Z = sen\, \varphi_1 \quad , \quad X^2 + Y^2 = (1 - cos\, \varphi_1)^2$$ designando por φ_1

el ángulo que forma el radio $O' m_1$ con la línea de tierra $A O'$

éstas han de originarse racionalmente de los datos que están á nuestro alcance.

Estos datos son los siguientes:

1.° Se trata de cubrir el espacio trapecial $ABDC$.

2.° La superficie que vamos á emplear se le impone el pie forzado de que corte al plano vertical $A\,B$ de mocheta según la semicircunferencia $A'\,E\,B'$ empezando esta superficie con esta línea.

3.° También ha de cumplir la condición de cortar al plano vertical posterior de cabeza $C\;D$ según el arco circular $C''\;D''$ cuyo centro es F concluyendo la superficie con él y

4.° Que la citada superficie venga necesariamente cor-

La generatriz corta al plano $Z = sen\ \varphi_1$ del círculo en un punto cuyas coordenadas son:

$$z' = sen\ \varphi_1 \quad , \quad x' = \frac{(sen\ \varphi_1 - sen\ \varphi)}{h - sen\ \varphi} cos\ I \quad , \quad y_{\prime} = 1 - cot\ \varphi .\ sen\ \varphi_1$$

Ahora bien para que la generatriz no corte á la circunferencia, es preciso que el punto x', y', z' le sea interior ó mas bajo que ella; lo que puede expresarse por la condición

$$x'^2 + y'^2 < (1 - cos\ \varphi_1)^2$$

Pero hemos visto que el plano $c\ O'\ m$ corta á la horizontal $(c\ b, c'\ b')$ en un punto cuyas coordenadas son

$$z_2 = h \quad , \quad y_2 = 1 - h\ cot\ \varphi$$

si hacemos $h\ cot\ \varphi = A$ se tendrá

$$tang\ \varphi = \frac{A}{h}\ cot\ \varphi = \frac{h}{A} \quad , \quad sen\ \varphi = \frac{h}{\sqrt{h^2 + A^2}}$$

El plano superior $c\ o\ m_1$ corta la horizontal $(c\ b, c'\ b')$ en un punto y su traza vertical $O'\ m_1$ hace con la línea de tierra un ángulo φ_1, haciendo $u = h\ cot\ \varphi_1$ se tendrá:

$$sen\ \varphi_1 = \frac{h}{\sqrt{h^2 + u^2}}$$

Pero como el círculo descrito por el punto m_1 no puede ser cortado sino por las generatrices que pasan por puntos tales como m más bajos que m_1 se tendrá $\varphi_1 > \varphi$ y $u < A$.

Introduciendo pues estas propiedades en las expresiones de x', y' la espresión de condición se convertirá.

$$\frac{cos^2\ I\ (\mathcal{A} + u)^2\ (\mathcal{A} - u)}{\left(\sqrt{h^2 + \mathcal{A}^2} - 1\right)^2 \left(\sqrt{h^2 + \mathcal{A}^2} + \sqrt{h^2 + u^2}\right)^2} = < 2\sqrt{h^2 + u^2} - (\mathcal{A} + u)$$

Esta ecuación de condición podrá venir aplicada practicamente á distintos casos según sean los datos.

tada por los planos verticales de derrame por dos curvas dadas que en proyecciones son $B'\,D'' - B\,D$ y $A'\,C'' - A\,C$ y rebatida una de ellas en $B'\,D^4$.

De estos mismos datos se desprende ya la generación que va á emplearse; en efecto si concebimos la recta $H'\,E - O\,H$ de perfil y que une los puntos más altos de las dos curvas circulares podremos concebir fácilmente una serie de secciones por medio de planos verticales paralelos comprendidos entre $A\,B$ y $C\,D$, cada uno de estos planos nos cortará á cada una de las curvas de derrame así como á la recta $H'\,E - O\,H$ según un punto pudiendo así disponer á razón de tres puntos por cada plano secante; ahora bien como por cada tres puntos puede hacerse pasar una circunferencia y todas las que así obtengamos serán paralelas al plano vertical, podrá inferirse fácilmente de aquí, que la superficie es lo mismo que si fuese engendrada por el movimiento del primer arco de circunferencia $A'\,E\,B'$ paralelamente siempre á sí mismo, apoyándose sucesivamente en sus puntos extremos por los b, c, d, e, etc.; b', c', d', e' etc., de las curvas del derrame, así como por los puntos $5.''\ 4.''\ 3.''\ 2.''\ 1.''$, $5.'\ 4'.\ 3'.\ 2'.\ 1'$ de la recta culminante $H'\,E - O\,H$ aumentando de radio y disminuyendo de curvatura al pasar por las secciones intermedias $b\,b$, $c\,c$, $d\,d$, etcétera, concluyendo finalmente el movimiento al venir á confundirse con la $C''\,H'\,D'' - C\,D$. Para hacer más rápidas las operaciones en lugar de escoger los planos secantes á una distancia cualquiera, pueden desde luego hacerse pasar por los puntos $1'$-$1''$, $2'$-$2''$, $3'$-$3''$, etc., que dividen en partes iguales á la recta $H'\,E - O\,H$, dichos planos cortarán á la curva del derrame en los puntos b, c, d, etc., los cuales trasladándose en el rebatimiento en b'', c'', d'', etc., nos precisarán con sus alturas los puntos pareados $b'\ c'\ d'$, etc. de la proyección vertical, entonces será cuando teniendo los tres puntos de cada sección $f'\ 1'\ f'$, $e'\ 2'\ e'$, $d'\ 3'\ d'$..... etc., podremos trazar cada una de las circunferencias que pasan por cada sistema de estos tres puntos, cuyos centros respectivos se encontrarán también con facilidad si se ha tenido cuidado de dividir en partes iguales la separación de los centros primero y último.

Dispuesta así la figura, el aparejo, saca de plantillas y todo lo demás queda bajo el punto de vista de procedimiento, igual según se ha dicho al capialzado de Marsella y sólo se notará la pequeña diferencia de que un plano de junta cual-

quiera tal como $u\ r'$ cortará á la superficie de intrados, no ya según una recta, sino según una curva $r\ l\ k\ j\ i\ h$ obtenida por la intersección de todas las generatrices circulares con la traza vertical del plano.

La labra de la piedra se llevará como en los casos anteriores mediando no más la diferencia del trazado de la superficie de intrados (Fig. 221) que engendraremos con el auxilio de varias cerchas que afecten cada una de ellas la curvatura de su sección ó generatriz circular correspondiente, deducidas del plano de proyección vertical que allí están en verdadera magnitud en *4-4'*, *3-3'*, *2-2'*, etc., colocándolas respectivamente en los puntos de marca y disposición que señala la (Fig. 221') con el auxilio de las directrices que ya estarán colocadas $m\ n$, $m\ p$.

CAPIALZADO CÓNICO

438. La superficie de intrados que en este capialzado se emplea para la formación de su bóveda, es una superficie cónica circular cuyas bases son la semicircunferencia del plano de mocheta situada en el plano vertical $A\ B$ (Fig. 222) y el arco circular de mayor radio colocado en el plano de cabeza posterior expresando dicho arco en $C''\ E'\ D'$, formando en su conjunto el límite de un tronco de cono cercenado por los derrames verticales. Lo primero que hay que determinar en esta solución es el punto en donde se encuentra el vértice, para poder trazar enseguida las generatrices de la superficie, cuales además de determinar ésta, nos facilitarán medios para averiguar las curvas del derrame A este efecto concebiremos el plano de perfil $X\ Z$ que pasa por los centros respectivos $(O'\ O)$ $(E_1,\ E)$ de las dos bases circulares, pues es evidente que este plano conteniendo la generatriz $E'\ F$ así como el eje de la superficie que como á tal á de pasar por los centros O', E_1 de dichas bases, se cortarán respectivamente dándonos en su punto de encuentro el vértice que buscamos. Traslademos para más comodidad este plano $X\ Z$ paralelamente á sí mismo en $X'\ Z'$, haciéndolo girar enseguida alrededor de su traza vertical $X'\ S$, hasta rebatirlo en nuestro plano de proyección vertical, en este movimiento el centro $O'\ O$ viene á trasladarse en O'' y el centro E, E_1 se trasladará en ω resultando así la recta $\omega\ O''$ prolongada, ser la proyección sobre

este rebatimiento del eje del cono, más como dicho plano de perfil viene á ser un corte de todo el muro y de los detalles que él encierra, representando este corte en el rebatimiento tendremos el muro expresado en la parte rayada y en él el resalto $G_1\ G'\ F_1\ F'$ que será el corte de la puerta y su mocheta y finalmente $F'\ E^3$ la generatriz más elevada del cono cuya proyección la teníamos en $E'\ F$ de lo cual se infiere, que encontrando la intersección v'', de esta recta, con el eje anteriormente mentado, vendremos á deducir así el vértice del cono en el rebatimiento y de éste pasar por la inversa deshaciendo el giro, á la proyección vertical y horizontal $v' - v$ de dicho vértice.

Determinemos ahora varias generatrices de la superficie cónica, uniendo el vértice v con distintos puntos *b-b'*, *d-d'*, *f-f'*, parte de éstas pasarán necesariamente por puntos tales como *a-a'* *c-c'*, etc., situados sobre la base superior, más concluyendo ésta en su punto extremo $D - D''$ las otras que seguirán tales como es una de ellas la $v \cdot f$ -- $v'\ f'$ irán á cortar al derrame vertical en un punto e -- e' que unidos todos nos facilitarán la curva de derrame $D''\ e'\ A'$ con la cual quedará limitida toda la superficie cónica que forma el intrados de la bóveda. Toda esta curva así como todas las generatrices del cono señaladas en la proyección vertical, se han proyectado para la mejor comprensión de la figura en el plano auxiliar de que anteriormente nos hemos valido para determinar el vértice, estando así más enlazadas todas las operaciones. La manera como está situado el plano vertical de derrame con respecto al cono, hace que esta curva sea una hipérbola.

Procederemos ahora al aparejo del conjunto repitiendo las mismas operaciones que hemos practicado en los casos anteriores, advertiremos solamente que la sección de un plano de junta con la superficie de intrados tal como por ejemplo $P'\ R'$ nos dará una curva proyectada horizontalmente según la línea $m'\ 1\ Q$, curva que en virtud de la disposición del plano secante vendrá á ser una parte de rama de hipérbola, pudiendo encontrar cada uno de sus puntos el *1* por ejemplo valiéndonos de un plano secante auxiliar $\alpha\ \beta$, el cual cortará á la superficie cónica según una circunferencia paralela al plano vertical $\pi'\ \eta\ p'$ dándonos su intersección *1'* con el plano $P'\ R'$ el punto de la curva y que podemos proyectar en el punto *1* en el plano horizontal, el centro de esta circunferencia se en-

contrará fácilmente en el plano auxiliar del rebatimiento, con sólo proyectar en éste la traza que sobre él produce el plano secante α β proyectada en el punto γ y rebatida en la vertical que pasa por el punto γ' cuya, prolongándola nos da el punto ω' al cortar al eje del cono $O'' \omega$; ω' la podemos trasladar en θ deshaciendo el giro y entonces proyectando los puntos π, p de la proyección horizontal en π', p', en la vertical nos dará definitivamente el radio θ p' con el cual se trazará el arco circular.

439. Si quisiéramos averiguar si puede efectuarse libremente el movimiento de giro de las dos hojas de la puerta podríase emplear el procedimiento á posteriori que hemos visto en el número (434).

La labra de la piedra se efectuará con los mismos requisitos que hemos visto en los casos anteriores y únicamente al tratar del trabajo correspondiente á la superficie cónica de intrados se echará mano de una serie de generatrices *1-1'*, *2-2'*, *3-3'*, etc., marcadas en las proyecciones, trasladando sus puntos extremos de marca con las plantillas en la piedra que se labra (Fig. 222') indicándonos así los límites necesarios para el desvaste al mismo tiempo que la dirección con que se ha de llevar este labrado especial para que resulte la superficie cónica.

CAPIALZADO DE SAN ANTONIO

440. Existen varios ejemplos de esta clase de capialzado, llevando cada uno de ellos el despiezo y disposición de juntas de un modo distinto y con mas ó menos acierto y habilidad en la resolución del problema teniendo en cuenta la extraña superficie de intrados empleada al formar la bóveda, más de todos ellos no hay duda ninguna que el que ha sido objeto de más interés y casi se puede decir se ha tomado por tipo de los de este génro es él que se construyó en París, en una de las puertas del arrabal de S. Antonio, cerca la antigua Bastilla, razón por la cual derivó el nombre que lleva y fué bastante para que se nombraran con él todos los demás que en lo sucesivo se erigieron, obedeciesen ó nó al mismo despiezo, con tal que conserven la misma generación en la superficie de intrados.

No es el objeto de este capialzado, el principal que motivó á los demás y que hemos pasado en revista, pués que en ellos se acusaba la construcción por la necesidad imperiosa que había de cumplirse de que las medias hojas girasen libremente sin que encontrasen obstáculo ninguno en la bóveda superior, ya que allí las dos medias hojas terminaban por un arco de círculo, en general el medio punto. Pero aquí varia la cuestión, pues que si bien el arco que hemos llamado de cabeza, situado en el paramento anterior es semicircular, en cambio el arco de abertura en el paramento principal y en la mocheta es recto, constituyendo por lo tanto una puerta adintelada y dicho se está, que con esta disposición podrá girar libremente la hoja de la puerta, pués que la superficie tórica de los casos anteriores se convierte aquí en nuestro caso en un simple plano horizontal más bajo que todos los puntos que constituír pudiesen una bóveda, sea de la clase que fuese con tal que los arranques estuviesen siempre mas altos que dicho plano horizontal referido, pués no hay lugar á suponer lo contrario, ya que hemos de descartar anomalías de toda clase.

El capialzado de S. Antonio, se emplea, pués, según esto para que comunique á la puerta un carácter más grandioso y monumental y que esté en consonancia y armonía con el conjunto y detalles del edificio de donde forma parte; así es que se suele emplear en los edificios de carácter público y monumental, así como también en las particulares de reconocida importancia, palacios, etc., tal como podríamos citar el del palacio Alberti en Florencia, el de Koffel en Berlín, el de la entrada de la sala de contratación de la Lonja de Barcelona, si bien es verdad que este no es en absoluto del género de que tratamos por no ser uno de los arcos el adintelado, más de todas maneras, es digno de llamar la atención por empezar el capialzado por una semielipse y concluír con otra muy rebajada, colocada en esbiaje con respecto á la primera, y obedecer la superficie que uniforma el intrados á la misma generación que el de S. Antonio.

441. Para que se tenga un concepto é idea precisa del capialzado de S. Antonio, se presenta este en perspectiva en la (Fig. 223) para que en ella pueda irse comparando con la (Fig. 224. Lám. 43) que nos dá la proyección horizontal y vertical del aparejo, al mismo tiempo que se sigan con más fru-

to las consideraciones de que será objeto en el estudio y resolución de que vamos á tratar.

Suponemos como en los casos anteriores, que se nos dá la planta constituída por la entrada propiamente dicha, la mocheta y el derrame que va á cubrir la bóveda del capialzado y en este sentido la línea quebrada E' E C^3 C A y su simétrica representa la sección del plano horizontal de arranque E'' F'' con las jambas ó pies derechos de la puerta. En la parte anterior la puerta es adintelada y se proyecta verticalmente según el rectángulo E' E'' F' F, igualmente la mocheta está adintelada y se proyecta según el rectángulo equidistante del primero C' C'' D' D'; en el paramento posterior ó de cabeza termina el conjunto de la puerta, un arco semicircular A'' v B'', arco y dintel en un mismo plano de arranque. Se impone aquí la condición de que el espacio de derrame A C D B se cubra por una superficie tal que contenga el arco semi-circular A'' v B'' empezando en este, y concluyendo en la línea recta CD, C'' D'' con la cual termine; lográndose esto valiéndose de una superficie envolvente tal, en que la generatriz al variar de posición cambie de magnitud y forma de una manera continua, disminuyendo la curvatura general hasta llegar á anularse pasando insensiblemente de la forma circular á la rectilínea. Veamos pués el modo de realizarlo.

Concibamos el plano de perfil Z Z' y que en el se coloque un cuarto de elipse cuyo arranque esté situado á la altura de la horizontal A'' B'', cuyo eje menor sea la horizontal O', O'' O y cuyo eje mayor sea la vertical v O'. O, al mismo tiempo tomaremos en consideración el corte de este plano Z Z' con todo el grueso del muro, proyectando todo este corte paralelamente, asimismo en el plano Q ϕ, haciendo girar luego este último alrededor de su traza vertical Q' Q para obtenerlo rebatido en el plano vertical de proyección y así resultará en éste que las paralelas Q Q', P P' representarán los planos verticales entre los cuales está comprendido el muro, que las líneas k l, m n serán la sección que produce el plano de perfil con el arco de ingreso y el de mocheta y que igualmente el cuarto de elipse n h'' P daremos por supuesto que es el corte del mismo plano con la superficie de intrados que vamos á engendrar, cuyo arco de elipse es el mismo que habíamos concebido situado antes en el referido plano de perfil. Así las cosas, imaginemos una serie de planos verticales paralelas á los paramentos y cuyas trazas horizontales son t t_1, q a'. r r_1 en cada

uno de ellos, situemos una elipse que tenga por eje horizontal cada una de las horizontales (Kt_1, $K't'_1$), (qa', $q'a$), (rr_1, r' r'_1), y por ejes verticales, los ordenados verticales que se proyectan horizontalmente en h_1, h, h_2 correspondientes al cuarto de elipse que antes hemos colocado en el plano de perfil. Si escogemos por ejemplo uno de estos planos tal como α β éste cortará al plano auxiliar Q' ϕ dándonos una traza que vendrá representada en la vertical M M'' en el rebatimiento correspondiente, y ella nos indicará en el trecho de M'' h'' la ordenada vertical á que antes nos referíamos, de modo, que trasladando el punto h'' en la proyección vertical en h' podremos inmediatamene trazar ya que conocemos sus ejes, la semi-elipse q' h' a_1 de modo que así operando, iríamos describiendo las otras, tales como K' n t'_1, r' m r'_1, y todas ellas como es visible, van disminuyendo sucesivamente la longitud de los ejes hasta que al llegar á la última posición en que el eje mayor se reduce á C' D' que es cuando la elipse móvil ha salvado ya toda la distancia O n' vista en el rebatimiento en O''' n que es en donde se vé claramente que la ordenada vertical M'' h'' se ha reducido á cero al llegar el punto M'' en n; si pues nos hacemos cargo de una serie continua de estas elipses de manera que en ellas no exista solución de continuidad tendremos así formado en su lugar geométrico la superficie de que tratábamos, y que algunos autores llaman *superficie de vela* ó en forma de vela.

442. Conocidos ya los datos, pasemos al aparejo, dividiendo el arco circular de cabeza en un número impar de partes iguales, trazando enseguida por cada uno de los puntos de división G', H' etc., las normales G' I', H' L, etc., trazando al mismo tiempo los asientos horizontales que pasan por los puntos L, I', así como las juntas verticales discontinuas tal como K I'. Además para concluir las juntas G' I', H' L etcétera se emplearán una serie de cilindros tangentes á estos planos cuyas bases son los arcos circulares $G'g$, H' γ' etcétera, trazados desde los centros N, N' .. — etc., y con los radios correspondientes á las partes de tangente G' N, H' N'... volviendo á ser tangentes estas juntas cilíndricas á los planos verticales g' F'', γ' J etc., cuales planos evitan el ángulo agudo en el dintel, y así toda una piedra estará completamente determinada en el plano vertical por su contorno aparente que será por ejemplo la de $J\gamma'$ $d'H'LK$ I' G' e' $b'f'$ g' $F''J$.

En cuanto á su proyección horizontal, es fácil obtenerla, también proyectando cada uno de los puntos f', b', e' (producidos por la intersección de las elipses con la traza vertical del cilindro de junta) en el plano horizontal en f, b, e sobre las trazas de los planos secantes respectivos de que antes nos hemos valido, obtendremos así una curva $G\,e\,b\,f\,g$ que será la intersección de la superficie de intrados con la junta cilíndrica, de modo que unida esta línea formando sucesivamente contorno con $G\,I'$ que representa el plano de paramento, $I\,I''$ que representa el asiento horizontal, la recta $\theta\,I''$ que significa el paramento anterior y $\theta\,\gamma$ que es la proyección de todo el plano vertical J' nos dará en conjunto la proyección horizontal de la piedra.

En cuanto á lo que se refiere á la proyección horizontal de una junta tal como la $I'\,F'$ se deducirá del encuentro parcial de su superficie con cada una de las otras que encuentre á su paso, así es que hemos dicho ya que cortaba al intrados según la curva $g\,f\,b\,e\,G$, corta luego el paramento de cabeza según la línea de junta $G'\,I'$ que se proyecta en $G\,I$, luego al plano de asiento horizontal según la perpendicular $I\,I''$, al plano vertical $L\,T$, enseguida encuentra al paramento anterior según toda la línea mixta $I'\,G'\,e'\,b'\,f'\,g'\,F''$ proyectada en $I''\,\theta$ y finalmente corta á todo el resalto de intrados según tres líneas proyectadas horizontalmente que se confunden con la $F'\,g$ siendo así toda la junta la figura $g\,G\,I\,I''\,F'$; encontrándose todas las demás juntas repitiéndose operaciones análogas á las precedentes.

443. Pasemos ahora á buscar la verdadera magnitud de esta junta últimamente consignada, la cual por ser cilíndrica en su mayor parte habremos de desarrollarla junto con los planos que le son tangentes y á este fin observemos que su sección recta viene precisamente dada en la proyección vertical á lo largo de toda la línea $I'\,G'\,e'\,b'\,f'\,g'\,F''$ pues que siempre podremos concebir que dicha línea está producida por la sección del plano vertical $A\,B$ con dicho cilindro siendo aquél perpendicular á las generatrices de éste; si pues en la (Fig. 224') trazamos una recta $I\,F$ que sea la rectificación de toda la línea $I'\,G'\,e'\,b'\,f'\,g'\,F'$ de la proyección vertical tomando sucesivamente sobre ella los distintos elementos, unos en pro de otros $I\,G$, $G\,e''$, $e''\,b''$, $b''\,f''$, $f''\,g$, $g\,F$ iguales á los análogos elementos de dicha proyección vertical, y levanta-

mos por cada una de estas divisiones ordenadas tales como $e''\,e$, $b''\,b$, $f''\,f$, $g\,g'$, $g\,g''$, $F\,F'$, $F\,F''$, $I\,I'$ iguales á las distancias respectivas de cada uno de los puntos á los correspondientes de la proyección horizontal $A\;B$ que representa el plano de la sección recta; uniéndolos enseguida los que así resulten según la disposición que indican las proyecciones vendremos así á deducir el desarrollo de la junta en el contorno expresado en $G\,I\,I'\,F''\,F'\,g''\,g'\,f\,b\,e\,G\,I$.

Con estos desarrollos, las caras de los paramentos de la piedra que están en verdadera magnitud en el plano de proyección vertical, y los planos de asiento horizontales que también nos dan plantillas en verdadera magnitud en el plano horizontal, podremos pasar fácilmente al labrado de una piedra por ejemplo el salmer.

444. (Fig. 24''). Escógese un prisma cuyas bases sean todo el contorno aparente de la piedra en el plano vertical mientras que la separación de estas bases ó altura de este primer prisma sea el grueso del muro, principíase colocando en la base anterior la plantilla de cabeza señalada con las letras $B.G\,I\,S\,R$ la cual lleva una señal común en la proyección vertical y en la figura en Perspectiva, colocada que sea ésta se puede señalar en su plano horizontal inferior la plantilla deducida de la proyección horizontal y ésta vendrá colocada en $B\,R\,R'\,F'\,F\,D'\,D\,B$ al mismo tiempo que en la junta de lecho podemos ya limitarlo colocando el desarrollo antes encontrado y que viene indicado con una misma señal antes y después de su colocación, orillando sus bordes las líneas ya colocadas en la piedra tales como son $G\,I$, $I\,I'$ y de este modo vendrá señalado este desarrollo en $G\,I\,I'\,F'\,F\,g''\,g'\,G$. Así dispuestas estas plantillas procede enseguida á llevar á efecto el labrado del resalto en la mocheta aunque la operación ha de llevarse con mucha cautela para evitar el desgaje de demasiada piedra que quizás formar parte pudiera de la superficie de intrados que después hay que labrar. La indicación de este labrado está previsto desde el momento que las líneas $F\,g''$, $F'\,D'$ nos dan el plano vertical de mocheta y nos dicen del modo como se ha de quitar la piedra á fin de hacer pasar un plano por ellas limitado por las dimensiones de las mismas, trazado éste, las líneas $d\,d'$, $g'\,g''$ nos determinan otro plano el horizontal superior de mocheta y con su indicación no hay más que desalojar la parte de piedra que corres-

ponde, hasta obtener el citado plano limitado por un pequeño rectángulo $g'' g' d' d$, fijados estos dos planos, el tercero vertical de mocheta $D' D d d'$ se impone por sí mismo pues los mismos límites de aquellos nos lo dan.

445. Finalmente resta tan sólo el labrado de la superficie curva de intrados cuyo límite tenemos ya pues que la encierra en su contorno la serie de líneas ya colocadas tales como son $B G$, $G g'$, $g' d'$, $d' D$, $D B$ y para esto se efectuará el desvasté recordando que la superficie es envolvente y como á tal ha de emplearse en el espacio ó relieve, la misma generación y generatrices que han servido en las proyecciones. Recordemos que las generatrices son curvilíneas distintas una de otra en curvatura y dimensión, expresadas en verdadera magnitud en el plano vertical $e' t'_1$, $b' a$, $f' r_1'$,.... etc. y así tantas como quisiéramos.

Cada una de estas curvas generatrices deben según esto trasladarse á la piedra, para que en sus respectivas posiciones nos indiquen el sucesivo desaloje del material excedente para así venir á descubrir la superficie de que se trata y como quiera que dichas curvas cortan sucesivamente á las líneas de junta en los puntos e', b', f' en el lecho superior y en los otros puntos t_1', a', r'_1 en el sobrelecho inferior, claro está que estos puntos indicadores se trasladarán en la piedra al trasladarse dichas juntas y así vendrán expresadas en la (Fig. 224'') resta solamente ahora cortar una cercha para cada curva y cada una de ellas colocarla en la piedra de modo que pase por los puntos pareados que le correspondan, hasta que con la precisión del labrado su parte convexa nos dé la parte cóncova en el sitio de la superficie en donde proceda colocarse, tal como se demuestra dibujado en la figura en perspectiva. Una serie de cerchas de esta naturaleza y cuyo número dependerá del criterio que tenga el operador nos dará la superficie de que se trata terminando así el labrado de la piedra.

446. Colocación y retoque en los capialzados.—Siendo los capialzados, construcciones que tienen poca profundidad, dos cimbras generalmente bastan para la colocación de la bóveda, esto es, una para el arco de la puerta en el paramento principal y otro situado en el arco de cabeza del capialzado ó sea en el plano de paramento posterior y esto cuando la superficie de intrados admite generatrices rectilíneas como

son: los capialzados de Marsella, Montpeller y el cónico, más en los de S. Antonio y el mismo de Marsella modificado que admite generatrices curvilíneas y variables en sus dimensiones en cada una de las posiciones que ocupan, es prudente para la mayor exactitud valerse de alguna cimbra intermedia que afecte la curvatura de la generatriz variable cuando pasa por dicho punto Estas cimbras sirven de costillas á una tablazón que presta debido asiento á cada una de las dovelas.

De todos modos, ante todo conviene preparar los lechos de los dos arranques de modo que sean bien horizontales, colocándose enseguida en cada uno de ellos la primera hilada de la bóveda, cuidando de que la arista inferior de cada una de estas hiladas coincida exactamente con la superior de los pies derechos, siendo fiel continuación cada uno de los paramentos laterales de las dos porciones de muro que forma parte del pie derecho y de la dovela. También se atenderá con gran precisión al colocarse las dovelas que sus caras vistas en los paramentos laterales del muro, coincidan exactamente con las superficies con que estos terminan. Por medio de tres reglas se procede luego á la verificación de la arista superior del intrados de modo que esté bien colocada, ensayando el regulador de juntas para la debida posición de los lechos inclinados tal cual aparecen en los paramentos. De no cumplir la piedra las condiciones que ha de guardar, se la suele tantear en distintas posiciones, moviéndola ya por la parte inferior ó superior ó por las dos á la vez, retocando ya la junta superior ó ya la inferior, cuidando sobremanera que las aristas de los intrados coincidan con verdaderas líneas rectas en toda la longitud de la bóveda.

Estos requisitos cumplidos para con respecto á la primera hilada de á derecha é izquierda, se van superponiendo enseguida las hiladas sucesivas presidiendo las mismas precauciones, siendo su colocación simultánea, esto es, que si se coloca la segunda hilada de la derecha, ha de colocarse sucesivamente la segunda hilada de la izquierda, y así subiendo la bóveda á igual altura por ambas partes, rectificando al concluír cada operación de hilada, la junta superior de manera que sea bien plana y colocada en su debido sitio á la par que á la junta inferior se le nutra de material de enlace hasta que esté bien enlazada con las hiladas que han precedido. Así se continuará hasta llegar á la colocación de las

contraclaves y claves. El medio mas cómodo para esta operación consiste en la colocación de estas piezas sobre la cimbra, peró de modo que estén en seco, espaciándolas de manera que dejen bien acusadas los intersticios de junta; llénanse luego éstas de mortero de cemento lo bastante espeso, sacudiendo ó golpeando algún tanto las piedras al objeto de facilitar la introducción y aloje del material de enlace, para que rellene las superficies de junta.

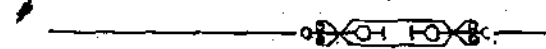
Una vez dispuesta la colocación, viene enseguida el trabajo del repicado, subsanando lo mejor posible los defectos que aparezcan, y obtener las superficies de intrados con las verdaderas curvaturas resultantes de la generación especial que se haya empleado.

Por regla general, han de situarse de la manera mas exacta posible, dos líneas directrices una en cada embocadura, precisándolas por medio de ranuras cuya profundidad y descalce de todos sus puntos, se obtendrán por medio de abscisas y ordenadas deducidas del dibujo en proyecciones tomando casi siempre por plano de comparación el horizontal de arranque.

Mas estas ranuras convendrá establecerlas también intermedias entre las dos primeras referidas, cuando de la construcción se trate de los intrados que admitan superficie á generatriz variable, y se obtendrán por medio de distintas secciones producidas á la bóveda por planos paralelos á los paramentos.

Constrúyanse luego grandes cerchas, una para cada una de ellas, colocándose en la situación que les corresponda, en la bóveda del natural, retocando el intrados, produciéndole la ranura aludida hasta que puedan colocarse con toda comodidad las cerchas aludidas.

Ya éstas así dispuestas, nos indicarán la pequeña parte ó prominencia que hay que descargar, ó hueco que sea necesario suplir para que así repicando la piedra, nos facilite finalmente la verdadera superficie de intrados limpia y lisa sin que se perciba la menor solución de continuidad.





CAPITULO DÉCIMOSEXTO

BÓVEDAS DE REVOLUCIÓN

447. Las bóvedas se llaman de revolución, cuando la superficie de intrados está formada por el giro de una línea cualquiera alrededor de un eje vertical ú horizontal. Trataremos aquí solamente de las primeras, esto es, de las de eje vertical. Con lo dicho se infiere que hay variaciones distintas dentro de esta clase de bóvedas, dependiendo su clasificación de la índole de la meridiana, así como también de que esta última encuentre ó no al eje de la revolución.

Esta clase de bóvedas pueden extradosarse con superficies equidistantes de la del intrados ó con otras del mismo género pero sin guardar la equidistancia en el sentido de la altura, pues en este último caso, están mas separadas en el arranque que en los puntos correspondientes á la mayor altura y finalmente pueden terminarse también en algunos casos especiales por medio de planos horizontales.

De todos modos, podemos considerar como á bóveda matriz de todas ellas, la conocida con el nombre de esférica por la regularidad y perfección de su forma, siendo al mismo tiempo la mas sencilla; por ella, pues, empezaremos el estudio de las mismas.

BÓVEDA ESFÉRICA.

448. Cuando el intrados de la superficie está engendrado (Lám. 44, Fig. 225) por la revolución de un cuadrante de

circunferencia A' C' Y' que gira alrededor de su diámetro vertical (O, O' Y'), entonces la superficie de intrados es esférica y la bóveda adquiere esta denominación siendo á propósito para poder utilizarla cubriendo espacios circulares.

Atención hecha á la simetría de todas las superficies y líneas que entran á formar parte de esta bóveda nos concretaremos solamente á una cuarta parte de la misma expresada en la proyección horizontal por el ecuador B R S A y los radios O B, O A del cuadrante que aprovechamos. La parte rayada B R A J K comprendida en el ánulo formado por los dos cuartos de circunferencia interior y exterior, nos representará el grueso del muro de apoyo el cual lo limitarán dos superficies cilíndricas rectas.

Escogiendo ahora en el eje de giro un punto ω más bajo que el centro O' que está situado en el mismo plano de arranque, y haciéndole servir de centro de una circunferencia de radio ω X', describiremos ésta en X' I' H' Y, la cual haciéndola girar ahora obedeciendo al movimiento general nos engendrará la superficie esférica de extrados y será tal que permitirá más grueso á la bóveda á medida que las hiladas se aproximen al arranque, aumentando así este grueso de una manera sucesiva y gradual conforme exigen las condiciones de estabilidad y de que hemos hablado ya en ocasiones análogas. Según esto tendremos que toda la parte rayada que expresa la proyección vertical dentro el contorno Y' Y H' Z' J' A' E' Y' significará el corte ó sección dada en el macizo de la bóveda por el plano vertical O J meridiano de la esfera y siendo paralelo al de proyección del mismo nombre.

449. Formación de juntas.—Si dividimos el arco meridiano en un número impar de partes iguales A' C', C' D', D' E'... etcétera y trazamos por cada uno de los puntos de división una serie de planos horizontales, estos vendrán á cortarnos á la esfera según una serie de círculos mínimos cuyos radios respectivos estarán expresados en proyección horizontal por O C, O D, O E... etc., siendo estas circunferencias á propósito para las líneas de junta continuas, y lo son en primer lugar, por ser horizontales y en segundo, por cumplir la propiedad de ser líneas de curvatura, pero si bien ellas son aceptables como á líneas de hilada, no lo son como á superficies de junta los planos horizontales que las han producido y efectivamente, no pueden serlo desde el momento que cortan en án-

gulos muy agudos y defectuosos á la bóveda, cuyo inconveniente se acentúa más y más á medida que el plano secante se aproxime al punto más alto de la superficie esférica.

Si pues la superficie de junta ha de ser el lugar geométrico de todas las normales á la bóveda trazadas en todos los puntos que forman la línea de junta, se inferirá fácilmente que vendrá á ser una superficie cónica cuyo vértice será el centro de la esfera. Cual aserto se deduce inmediatamente al considerar la normal C' X' en el punto C' que corresponde al meridiano principal, pues en este estado cuando el meridiano gire para engendrar el intrados se llevará consigo la normal C' X' de modo que en cada una de estas posiciones el meridiano conservará la misma normal para el punto considerado, y como todas las normales á una superficie esférica son radios de la misma pasarán por su centro y formarán así un cono recto, de revolución de eje vertical y de base horizontal.

Una vez hecha esa elección de líneas y superficies de junta continuas las discontinuas se desprenden inmediatamente de ellas; y así ha de ser puesto que esta segunda clase de líneas han de ir cortando á las primeras en ángulo recto y por lo tanto si las primeras estaban producidas por los planos horizontales, las segundas no pueden ser otras que las producidas por las secciones de planos verticales meridianos y éstas serán líneas de la segunda curvatura, llevando consigo la ventaja de que estos mismos planos que las han producido, pueden ya utilizarse como superficies de junta discontinuas por contener las normales á la bóveda que pasan por todos los puntos de dicha sección meridiana, cumpliendo por lo tanto la ventaja inapreciable de cortarnos á los lechos cónicos según rectas generatrices.

450. Es á propósito la bóveda esférica para dejar un lucernario en la parte superior pudiendo prescindir por lo tanto de la clave y de algunos anillos ó hiladas inmediatas á ella, todo gracias á la disposición del aparejo empleado, en el cual las juntas siendo cónicas concurrentes al centro de la esfera y los planos meridianos de las líneas alternadas siendo también concurrentes hacia el eje vertical de la revolución, esto ha hecho que todas las piedras resulten en forma de cuña, más anchas hacia el extrados que en el intrados comprimiéndose entre sí una vez colocadas todas las de un anillo y de tal modo, que pugnan entre sí á la concurrencia al centro de la

esfera y cuanto más trabajan más obra la compresión siendo imposible que se salgan de su asiento, todo en virtud del esfuerzo recíproco con que obran.

451. Labra.—Varios son los medios especiales de labra empleados en la bóveda esférica, los unos tienden á la mejor exactitud, los otros á la economía, los pasaremos en revista por su orden.

1.° *Sistema de Escuadría.* Escojamos una piedra en que la superficie de intrados esté proyectada en *P Q M N*, *P' Q' M' N'*. Completemos antes todas las proyecciones de esta dovela y para esto recordando que todas las secciones meridianas son iguales, tendremos que cuando la figura meridiana correspondiente á esta hilada *E' D' I' H'* gire para engendrarla, habrá de pasar forzosamente por las posiciones proyectadas en *M' S' U' Q'*, *N' R' T' P'*, luego de aquí se infiere que trazando por los cuatro puntos de intrados *N'*, *M'*, *Q'*, *P'*, las normales correspondientes *N' R'*, *M' S'*, *P' T'*, *Q' U'*, y terminándolas por los planos horizontales que parte de *I'*, *H'* se tendrán así los cuatro vértices exteriores de la pieza, mientras que repitiendo análogas operaciones para puntos intermedios en las curvas *P' N'*, *Q' M'* determinaríamos normales intermedias así como sus intersecciones con el extrados y de aquí las curvas elípticas *T' R'*, *U' S'* que nos dan la piedra en el plano de proyección vertical, cuyo contorno aparente vendrá expresado por *P' N' M' S' U' T' P'*. En cuanto á la proyección horizontal bastará proyectar horizontalmente *E'* en *E*, *D'* en *D*, *I'* en *I*, *H'* en *H*, trazando luego las circunferencias de radios *O E*, *O D*, *O I*, *O H*, aprovechando de ellas la parte comprendida entre los meridianos *O R*, *O S* y entonces el contorno aparente *P Q S R* será la proyección horizontal de la dovela escogida. En el sistema de escuadría se empieza labrando un prisma cuyas bases sean la proyección horizontal encontrada y su altura la máxima de la piedra que aquí será la separación de las horizontales que pasan por los puntos *H'*, *D'*.

Este prisma está representado en la (Fig. 225', Lámina 43) en *R' P' Q' S' S'' R'' P'' Q''*. Sobre sus caras laterales se colocarán las plantillas de junta discontinua *R N P T*, *Q M S U*, deducidas de la proyección vertical, pues que allí está en verdadera magnitud en *E' D' I' H'* puesto que ya hemos indicado antes que las secciones meridianas eran todas iguales. Para la

guía de esta colocación precisa señalar de antemano los puntos *P*, *Q*, *R*, *S* y esto se logrará en los dos primeros, colocando sobre las aristas delanteras y á partir de los puntos *P' Q'* las alturas *P' P*, *Q' Q* iguales á la separación que existe en el plano vertical desde los puntos *P' Q'* al plano horizontal *I' H'*, y luego tomando sobre las aristas posteriores y á partir de los puntos *R''*, *S''* las alturas *R'' R*, *S'' S* iguales á la separación que existe entre los puntos *R' S'* y la horizontal *N' D'*. En este estado córtense dos cerchas planas iguales á las curvas representadas en proyección horizontal en *T U*, *M N*, colocándolas enseguida en la (Fig. 225'), la una en la parte superior uniendo los puntos *T* y *U* y la otra en el plano de base inferior uniendo los puntos *N M*. Por otra parte, cójanse dos reglas flexibles, dóbleselas adoptándolas la una en el cilindro cóncavo anterior pasando por los puntos *P Q* y la otra sobre el cilindro exterior convexo pasando la regla encorvada por los puntos *R S*; pasando enseguida un lápiz insiguiendo el borde ó, bisel de estas dos reglas ó cerchas así colocadas.

Así habremos llegado á obtener los paralelos interiores y exteriores correspondientes á la piedra, pudiéndonos servir ahora de directrices de todas las superficies que la terminan. En efecto, dividiendo las curvas, *P'Q*, *T U* en el mismo número de partes iguales, desvastando luego la piedra hasta poder colocar una regla en las distintas posiciones que le correspondan al unir dos á dos los puntos homólogos, vendremos á encontrar el lugar geométrico de todas estas rectas que constituirán el cono de junta superior; haciendo lo mismo con las curvas *N M*. *R S* obtendremos el cono de junta inferior.

Representando ahora las curvas *P Q*, *N R*, los paralelos del intrados claro está que pueden ser directrices de la zona esférica interior que comprenden, con sólo imaginar que la parte *N P* de meridiano gira apoyándose sobre ellos, y esto prácticamente se consigue dividiendo estas curvas en el mismo número de partes iguales, numerando del mismo modo los puntos homólogos y desvastando luego la piedra excedente hasta que una cercha *k s k'* cortada según la curva meridiana *N P* pueda colocarse sucesivamente en las posiciones que indiquen los puntos pareados de marca, el lugar geométrico de las posiciones de todas estas curvas nos dará la zona esférica del intrados. Igual operación se repetirá para la labra de la esfera del extrados, únicamente que allí la cercha será cóncava y cortada según el meridiano exterior *R T*.

452. Segundo método de la proyección simétrica de la piedra sobre el plano vertical de proyección.—Cualquiera que sea la piedra que se escoja, siempre será dable hacerla girar dentro la zona ó hilada circular donde está situada hasta que venga colocada de modo á ser cortada en dos partes iguales por el plano vertical $O\ A$ que aquí es el meridiano principal, conforme nos lo demuestra la proyección horizontal de la piedra colocada ya en esta disposición en $s\ q\ q''\ s''$, en donde vemos que para que así suceda, los vértices extremos de los paralelos y situados á una misma altura tales como q, q''; n, n''; m, m''; s, s'' han de coincidir en una misma recta perpendicular á la de tierra y todas ellas divididas en dos partes iguales por el plano meridiano $O\ A$ que vendrá á ser el plano simétrico que dá nombre á este sistema de labra.

Fácil es pues concebir que colocada la piedra en esta situación, dos á dos los puntos de la misma se han de confundir en uno mismo en la proyección vertical, siendo según esto dicha proyección en lo que se refiere al contorno aparente la expresada en $d'\ a'\ m'\ q'\ n'\ b'$, y del cual nos vamos á valer para tomarlo como á base del prisma capaz cuya longitud sea la separación en sentido horizontal de los puntos más distantes de la piedra, aquí la distancia es $s\ s''$; este prisma contruído viene expresado (Fig. 225″ Lám. 43) por las letras $b'\ d'\ a'\ m'\ q'\ n'\ n''\ b''\ d''\ a''\ m''\ q''$, pero este prisma recto conviene cortarlo ahora por sus bases por medio de los planos verticales expresados en la proyección horizontal de la figura por $s''\ q''$, $s\ q$, y esto lo conseguiremos tomando las distancias $a^3\ a^4$ y colocándola en la piedra en $a'\ l$, por una parte y $a''\ l'$ por otra, tomando igualmente las $m'\ r = m''\ r'$ igual á la separación $\mu\ m''$ de la proyección horizontal, las $q'\ t = t'\ q''$ igual á la separación $h\ q''$, las $n'\ v = n''\ v'$, igual á la separación $n''\ \gamma$ y finalmente las distancias $b'\ x = b''\ x'$ igual á la separación $\beta'\ \beta$. De este modo en la (Fig. 225″) hemos obtenido una serie de puntos $z\ l\ r\ t\ v\ x$ que están todos situados en un plano que es el de junta discontinua de la piedra de manera que cortando toda la parte excedente de ésta hasta alcanzar dicho plano éste vendrá descubierto de tal modo cortándonos por la recta $z\ y$ vertical, á la primitiva base auxiliar de la cual ha quedado no más el segmento $d'\ y\ z$; de igual modo se deslindará el plano meridiano opuesto al ya referido, encontrando el contorno de su sección con el plano de la base opuesta en $z'\ l'\ r'\ t'\ v'\ x'\ y'\ z'$ siendo aquí el segmento que ha quedado de la base, $d''\ z\ y'$.

Tal como ha quedado esta piedra después del desvaste antedicho la tenemos representada en la (Fig. 225‴) y aquí sobre los planos meridianos colocaremos las plantillas Σ deducidas del mismo plano vertical de proyección orientándonos en la situación de ellas teniendo en cuenta que los puntos v, r han de coincidir ahora con los vértices correspondientes del prisma mientras que los puntos s', q' los podemos encontrar en altura en el plano de proyección vertical.

En los planos horizontales $l\ r\ r'\ l'$, $x\ v\ v'\ x'$ pueden colocarse ahora las cerchas curvilíneas $m'\ m''$, $v\ v'$, cortando luego una serie de cerchas circulares de distinto radio que representen las secciones producidas en la esfera por planos horizontales que medien entre los puntos de altura r, q', las cuales se encuentran en verdadera magnitud en el plano horizontal de proyección. Si pues señalamos ahora sobre las curvas $m'\ q'$, $m''\ q''$ una serie de puntos de marca que estén dos á dos á una misma altura y que cada par de ellos corresponda á la cercha debida á la sección que por ellos se ha conducido, se comprenderá fácilmente que si efectuamos el desvaste de la parte anterior hasta que puedan colocarse todas estas cerchas, llegaremos á obtener un lugar geométrico que no será otro que la esfera de intrados. Análoga operación para la parte exterior nos dará la esfera de extrados empleando como se supone cerchas cóncavas en lugar de convexas como habían de serlo en el intrados.

Con las curvas $v\ v'$, $q'\ q''$ puede trazarse ya el cono de junta superior valiéndonos como en el primer método de generatrices indicadoras de la labra, así como también con las curvas $s'\ s''$, $m'\ m''$ podrá trazarse el lecho cónico inferior

Siempre y en todo caso conviene asegurarse de la extensión de la superficie cónica de junta encerrada por ejemplo en las líneas $q'\ q''\ v'\ v$ y esto se conseguirá comprobando en una serie de ensayos el desarrollo de dicho cono representado en la Fig. 225 de la proyección del aparejo.

Al efecto haciendo centro en O' vértice del cono de junta y con el radio igual á la distancia $O'\ c'$ de dicho vértice al punto c' de la base se trazará, la $q^3\ q_1{}^3$ igual á la suma de elementos de que se compone la parte de paralelo $q\ q''$ de la proyección horizontal, los radios $q^3\ n^3$, $q_1{}^3\ n_1{}^3$ comprendidos entre la circunferencia antedicha y su concéntrica $n^3\ n_1{}^3$ trazada con el radio $O'\ b'$, nos dará el trapecio mixtilíneo $q^3\ q_1{}^3\ n_1{}^3\ n^3$ para el desarrollo pedido. Igual operación nos dará el desarrollo $m^3\ m_1{}^3\ s_1{}^3\ s^3$ del cono mínimo.

Algunos autores aconsejan la labra de los conos de lecho como por ejemplo el primero valiéndose F.ª 225‴ no más de la directriz $v\,v'$ (pues no tienen labrada la superficie esférica interior) así es que la generatriz $v\,q'$ ha de ir resbalando por la curva $v\,v'$ concurriendo siempre su otro extremo á un punto fijo que es el vértice del cono, punto muchas veces inaccesible para fijarlo de una manera definitiva en el espacio y esto de por sí puede dar lugar á muchos errores y hacer algo incierta la superficie de lecho. Al objeto de evitar este inconveniente si quisiéramos labrar el lecho cónico antes que la esfera de intrados se podría encontrar la intersección de este cono prolongado con el cilindro $t\ t'\ r'\ r$ de la piedra auxiliar y una vez esta intersección encontrada en q' ó q'' podrá servir de segunda directriz auxiliar de la superficie cónica de junta, terminándola en su justo límite cual es q'-*1*-*2*-q'', tomando al efecto la distancia *1*″-*1*, *2*″-*2*..... etc., cuyas operaciones todas ampliaremos en su lugar correspondiente, puesto que han de reproducirse en una de las próximas cuestiones.

453. Tercer sistema ó sea el conocido del *casquete esférico*, sistema de La Rue. Este método es más económico que las dos anteriores y empieza como el mismo nombre lo indica por el labrado de la superficie esférica de intrados, partiendo de él, el labrado de todas las demás superficies. Se escoge un prisma aproximadamente de las dimensiones que tenga la piedra, se labra en él un plano (Fig. 225ᴵⱽ) y sobre él se dibuja una circunferencia $r\ r'\ q''\ q'$, cuya circunferencia será la producida en la esfera por un plano secante que pase por los cuatro puntos que son los vértices del intrados. Si suponemos que la piedra que se escoge en el aparejo (Fig. 225) sea la proyectada en el intrados en $P'\ N'\ M'\ Q'$, $P\ N\ M\ Q$, claro está que uniendo dos á dos los dos puntos de altura obtendremos dos horizontales paralelas $P\ Q$, $M\ N$ susceptibles de estar cortadas simétricamente por el plano vertical intermedio y entonces el plano que pasa por ellas evidentemente nos cortará á la esfera según la circunferencia antedicha pasando por ésos cuatro puntos y cuyo centro será el del trapecio $P\ Q\ M\ N$ verdadero plano subtendente de la esfera en la piedra que se considera.

Construyendo pues aparte este trapecio en la (Fig. 225ᴵⱽ) en $r\ r'\ q''\ q'$ valiéndonos de alguna de sus diagonales tal como $q'\ r'$ (indicadas también en las proyecciones) se procederá á

buscar el centro O por el procedimiento que se indica en la figura y con este quedará ya determinada la circunferencia auxiliar que va á servir de norma para el labrado del casquete.

Márquense al efecto distintos diámetros de esta circunferencia, señalando bien los puntos extremos y haciendo uso de una cercha convexa cortada según una parte de meridiano de la esfera, desvástese luego lo interior de esta circunferencia procurando dar forma cóncava á la superficie de desvaste, á medida que se vaya descargando de piedra y cuando el obrero cree llegado ya el momento de hacer uso de la indicada cercha, la va tanteando, haciendo de modo que siendo perpendicular al plano superior, dos puntos de ella coincidan con los extremos de cada diámetro trazado, cuyos puntos de marca se han señalado, y así desvastando á la par que comprobando y haciendo girar la cercha por medio de un movimiento de revolución de modo que coincida con cada uno de los diámetros trazados. Cuando la coincidencia del bisel convexo de la cercha haya tenido lugar en toda la parte cóncava labrada, entonces será cuando el casquete esférico estará formado, faltando solo terminarlo en los justos límites referentes á la piedra de que se trata. Cuatro cerchas convexas bastarán para ello, dos de ellas representarán los paralelos que pasan á las alturas de E y D de la figura en proyección vertical, estas dos desiguales, y dadas en verdadera magnitud en la proyección horizontal en PQ, NM, la primera la colocaremos en la (Fig. 225ⱽ) alojándola de modo que su bisel convexo pase por los puntos $q'\ q''$ y coincida con la parte cóncava del casquete esférico, haciendo otro tanto con la segunda al pasar por los puntos r y r', los rasgos de lápiz que se hagan á lo largo de los dos biseles nos indicará el límite del casquete, hacia la parte superior é inferior.

En cuanto á las cerchas laterales que pasarán por los puntos, una por $q'\ r$, y otra por $q''\ r'$, serán deducidas simplemente de un trozo de arco de meridiano, colocándolas insiguiendo las mismas instrucciones que las otras dos.

Así es, pues, que tendremos limitado el intrados de nuestra piedra por el cuadrilátero curvilíneo $r\ q'\ q''\ r'$.

Después de fijados (Fig. 225ⱽᴵ una serie de puntos, *1*, *2*, *4*, *3* intermedios entre $q'\ q''$, se aplicará un baivel mixtilíneo, expresado por $\varphi\phi$, de modo que su vértice pase sucesivamente por estos puntos señalados y cuando la rama curvilínea con-

vexa ♁, haya hecho la coincidencia con la superficie esférica, entonces la rama rectilínea φ nos irá señalando la situación de la generatriz correspondiente al cono de lecho y el conjunto de todas estas generatrices, después del desvaste y labrado será la junta superior. Se infiere con esto, que al emplear el baivel se ha de hacer de modo que su plano esté en dirección perpendicular al paralelo que contiene los vértices de su ángulo en todas las posiciones, deduciendo este baivel generador de la proyección vertical del aparejo, que allí está en verdadera magnitud en $H' E' D'$.

Con operaciones del mismo género deduciríamos la junta cónica inferior y así obrando se tendrían á mano por una parte las rectas $v q'$, $r s$ y por otra la $q'' v'$ y $r' s'$ que nos determinarían los planos meridianos laterales, los que labrados colocaríamos en ellos la plantilla meridiana $q' v s r$, $q'' v'' s' r'$ y finalmente los arcos $s v$, $v' s'$, $v v'$, $s s'$ limitarán por completo la superficie esférica exterior, la cual podrá desvastarse simplemente ó si se quiere, labrarla valiéndose de una cercha cóncava cortada según el meridiano del extrados y resbalando por puntos de marca homólogos situados en las curvas $v v'$, $s s'$.

454. 4.° **Método del Padre Derand.**—En rigor este sistema usa las mismas operaciones que el anterior con la única diferencia, de que en lugar de emplear las cerchas para venir á buscar el límite de la superficie de intrados echa mano de un desarrollo aproximado de la superficie esférica. A este efecto el Padre Derand sustituye (Fig. 225) el arco $E' D'$ por su cuerda, de modo que al paso que dicho arco en la revolución engendra la esfera, la cuerda describirá un tronco de cono el cual desarrollado en el límite de la piedra escogida, es el que sustituirá al intrados de la esfera. Desarrollemos pues este cono y haciendo centro en el vértice O''' las bases circulares vendrán á desarrollarse según las circunferencias de radios $O''' E'$, $O''' D'$ tomando á partir de un punto de ellas tal como P'' la suma de elementos que forman la curva $P Q$ de la proyección horizontal obtendremos así la línea $P'' Q''$ en la que trazando las partes de radios extremos $P'' N''$, $Q'' M''$ se obtendrá el desarrollo definitivo del cono, el cual se empleará directamente colocándolo en el interior del casquete esférico, de modo que se efectúe la coincidencia de las cuatro vértices con los puntos análogos que antes se habían ya fijado en la

piedra. El resto de las operaciones es igual al procedimiento anterior.

Ya se ha indicado que este método es aproximado, pues parte de la base de un desarrollo, y sabido es que no tiene esta propiedad la superficie de la Esfera, sin embargo atendiendo que cuanto mayor sea el radio de la Esfera en mayor número de partes se dividirá el arco meridiano para la obtención de las respectivas hiladas, de aquí es que las cuerdas de estos arcos parciales menos sagita les corresponderá, tendiendo á aproximarse más el arco con su cuerda; por esto de emplearse el método de Derand ha de ser en el concepto de no ser de reducidas dimensiones, la Bóveda Esférica del dato. Ya Mr. Leroi confiesa ser inadmisible este método para Bóvedas de pequeñas dimensiones añadiendo que puede emplearse con entera confianza cuando el radio de la Esfera alcanza de 5 á 6 metros, y nosotros respetando como el que más la opinión de hombre tan ilustre, hemos visto prácticamente son aún pocas estas dimensiones para que no se deje notar deficiencia al sustituir la zona esférica por el tronco de cono de revolución que le es subtendente.

Bóveda en Hemiciclo

455. Hemiciclo: del latin hemicyclium, derivado del griego *hemisus* que vale tanto como medio y *kuklos* significado de círculo.

Pero entre los romanos se conocía por hemiciclo una construcción erigida en forma de recinto semicircular, con asientos para reunirse en conversación, y que situaban en los parques y otros sitios públicos para descanso de los paseantes. También se conocían así el conjunto de gradas de los teatros y que afectaban la forma semicircular, así como del mismo modo los grandes recintos semicirculares construídos en las tan renombradas termas.

Bóveda en rincón de Horno

456. Cuando se trata de cubrir un espacio semicircular muy extenso, entonces se recurre á la semiesfera y la bóveda toma el nombre de hemiciclo ó en hemiciclo.

Pero cuando son muy reducidas las dimensiones que ha de alcanzar la bóveda semiesférica, entonces se la designa con

el nombre de en rincón de horno. *Más cuando trates de asentar bóveda sobre muro de huella semicircular entonces emplearás bóveda en rincón de horno. Padre Valdivioso. Prácticas demontea. Valencia 1715.*

En general, en uno y en otro caso la bóveda semiesférica va enlazada siendo tangente y formando cuerpo con un cilindro horizontal, el cual cubre una planta rectangular en que dos de sus lados pararelos son tangentes á la semicircunferencia de la base del cilindro vertical que sostiene dicha semiesfera. El despiezo, puede ser exactamente el mismo que hemos visto en el caso anterior; esto es, el sistema conocido con el nombre de paralelos horizontales expresando así que las juntas continuas son conos de revolución de eje vertical y de bases circulares horizontales, así es que no insistiríamos sobre este particular de no ser susceptible otro sistema de despiezo empleado, aunque si bien es cierto que no reune las condiciones tan ventajosas como el ya conocido.

Este segundo sistema es el conocido por aparejo de pararelos verticales, y con esto se infiere que las juntas contínuas son conos de eje horizontal, cuyas bases circulares son los paralelos antedichos.

457. (Fig. 227, Lám. 45). Tomemos el plano de arranque de la semiesfera *(A B, A' C B')* como plano de proyección horizontal, terminando la bóveda por la parte exterior por medio de otra superficie esférida, no concéntrica con la primera, cuya sección meridiana es X' Y' Z' limitada en el plano de asiento horizontal que pasa por $X' Z'$, y descansando todo el aparejo por la parte exterior sobre un muro recto que lo expresa la parte que va rayada en la planta.

Si dividimos el semicirculo de arranque $A J K B$ en un número impar de partes iguales y levantamos planos verticales $D E$, $F G$, $H I$, $J K$, que pase cada uno de ellos por cada dos de los puntos de división que hayan resultado pareados, entonces estos planos nos cortarán á la semiesfera según círculos mínimos proyectados en verdadera magnitud en el plano vertical y cada uno de ellos servirá de línea de junta continua y directriz de un cono que teniendo el vértice en el centro de la esfera, será de revolución y de eje horizontal. Estas superficies cónicas así producidas servirán para los respectivos lechos. Produzcamos pues estas juntas. Si nos fijamos por ejemplo en el paralelo $D E$, $D' E'$ y en él, escogemos el punto

(N, N') queriendo hacer pasar por él una normal, ésta trazada, será la generatriz del cono de junta: esta normal indefinida, resulta evidente ser la prolongación del radio que pasa por dichó punto N', falta pues limitar este radio encontrando su intersección con la esfera exterior, y al objeto de hacer expedita esta operación referiremos el meridiano $O N$ que pasa por dicho punto al meridiano principal $O A$, en este movimiento (N, N') vendrá á situarse en (N_1, N_1') siendo en este estado N_1' n_1' la normal que se busca, pero rebatida y n_1', n_1 el punto límite donde corta á la esfera; así es que volviendo el giro á su primitivo estado el punto (n_1', n_1) irá á colocarse en (n, n') siendo por lo tanto N' n' la generatriz del cono en cuestión; pues bién, si esta operación se repite para cada uno de los puntos de la junta circular de hilada $(D E, D' N' E')$ obtendremos el conjunto de normales que formarán la junta del lecho, junta que cortando á esfera de extrados, nos dará la línea $(Q'$ n' g' S', Q n g h $S)$. Más la esfera de extrados viene cortada por el plano horizontal de asiento X' Z, por medio de una semicircunferencia tal como $X Q T U S Z$ y como ésta á su vez queda cortada en los puntos Q, S por la junta cónica antes engendrada, resulta que á partir del punto Q por ejemplo, la junta cónica deja de cortar la superficie esférica exterior para cortar luego al plano vertical R Q en donde limitamos la piedra viniendo representada esta intersección en la curva R' Q' del plano de proyección vertical.

Hemos dicho que limitábamos la piedra en el plano vertical R Q pues de no limitarla por él, las normales que median desde N á D se habían de prolongar cortando el plano horizontal de asiento que pasa por X' Z' así como seguir cortando al plano vertical lateral R_1 L' cuyo medio nos hubiera dado una piedra demasiado exagerada, excesivamente informe y teniendo lugar el encuentro de las superficies en ángulos agudos por demasía pronunciados.

Si análogas operaciones llevamos á cabo con respecto á la hilada siguiente $F G$, F' a' G' obtendremos otro cono de junta teniendo su límite en la línea $T e f U$, $T' e' f' U'$.

Si otro tanto hiciéramos en la tercera hilada $H I$ también obtendríamos otra curva de intersección tal como expresa la figura; de más reducidas dimensiones que las otras dos, pues claro es que á medida que se toman secciones más separadas de la primera, van reduciéndose más y más, disminuyendo por lo tanto el ángulo al vértice de los conos de junta, lo cual

equivale á decir que los cortes de sus generatrices con la parte de extrados van siendo cada vez más defectuosos en cuanto se acentúa la acuidad, esto aparte de que ya de por sí estas juntas adolecen de un defecto bastante notable, cual es de estar inclinadas al horizonte, favoreciendo algún tanto el resbalamiento; estas son las razones que motivan la reducción del ancho de la junta, cortándola al efecto por un plano $H'' I''$ paralelo á la base $H\ I$ del cono; así éste viene á ser cortado por medio de la línea semicircular que pasa por $H''' I'''$ proyectándose toda la junta cónica, entonces en la proyección horizontal, en el trapecio $H'' H I I''$ y en el plano vertical en el ánulo comprendido entre las dos circunferencias vista la una y oculta la otra.

Con mayor razón exige análogo procedimiento la junta que tiene por directriz el paralelo $J\ K$, pues esta, atención hecha á su reducida dimensión, sería causa que sus generatrices se extendieran á través de todo el grueso del muro presentando un gran lecho inclinado, cortando en definitiva al paramento posterior $L'' T''$ en ángulos agudos muy pronunciados conforme puede observarse en la proyección auxiliar de la izquierda (Fig. 227') que representa un corte rebatido, dado á la esfera por el plano de perfil $O\ \sigma$. Esta pieza que corresponde al paralelo más pequeño, termina en la parte superior por un cilindro horizontal que tiene por base la sección circular ($L\ M$, $L'\ M'$) y viene á continuación del cono de junta y es la que se conoce con el nombre de *Trompillón* por ser de análoga forma de las piezas de igual nombre empleadas en las trompas. Más como quiera que podría ser considerable el grueso del muro y no convendría por otra parte que el lecho cilíndrico que hemos indicado fuese de mucha longitud, por ser algo deficiente un asiento de este género, puede acudirse al medio de terminar dicha pieza á una profundidad moderada, supliendo luego el exceso del espesor del muro por un simple sillar tal como muestra la Fig. 227^v^.

458. Más volviendo á la hilada $H'\ \varphi\ I'$ que hemos terminado también como el trompillón, se puede observar que en virtud de la disposición que se encuentra en la bóveda, aparecerán algunas complicaciones en la misma y nos haremos cargo de ello si observamos á la vez la proyección vertical y el corte Fig. 227' de que antes hemos hecho mención. En esta sección el cono auxiliar de junta viene á ser

cortado en la generatriz $\varphi\ \psi$ y el cilindro que sigue en pos de él queda cortado también según la generatriz horizontal $\psi\ \varepsilon$, así es que si este cilindro se prolongara hasta cortar la parte exterior nos encontraríamos que aparte de su gran extensión, que dificultaría el asiento por ser éste en superficie curva, nos cortaría á la esfera en ángulo sumamente agudo. A evitar esto es que puede hecharse mano de una pequeña faceta cónica normal á la esfera de extrados, la cual vendrá á ser cortada por el plano de perfil por la generatriz $\varepsilon\ \gamma$. Dicha faceta cónica tendrá su vértice en el centro ω, ω' resbalando sobre el arco circular que pasa por el punto ε perteneciente al cilindro de la base posterior, concluyendo en el plano horizontal de asiento puesto que allí termina la superficie esférica del trasdos, el resto de la piedra puede ser un simple sillar en el cual irán adheridas todas las partes antedichas; teniendo en cuenta que este sillar podrá alcanzar hasta el paramento posterior del muro cuya traza es $L''\ T''$, en el concepto de no ser muy considerable el grueso, más de tenerse en cuenta el mismo en virtud de sus considerables dimensiones, entonces este sillar puede terminar teniendo un tizón de regulares dimensiones, interesando el grueso del muro que se crea más conveniente. En cuanto á las demás hiladas, de mucho no ofrecen tanta dificultad por combinarse solamente con la bóveda esférica del extrados.

459. Labra.—Si nos fijamos en la dovela cuyo intrados tiene por proyecciones los dos cuadriláteros mixtilíneos $a\ b\ c\ d$, $a'\ b'\ c'\ d'$, podremos observar fácilmente como esta piedra está comprendida entre dos superficies esféricas, dos superficies cónicas de eje horizontal y dos planos meridianos; más como estos, $a'\ b'$, $d'\ c'$ son perpendiculares al plano de proyección vertical, esto hará que los mismos sean límites laterales de la dovela en este referido plano. Hemos visto también que las juntas cónicas cuyas bases son $b'\ c'$, $a'\ d'$ van á cortar al extrados según las curvas $g'\ h'$, $e'\ f'$, y como quiera que la primera se nos presenta límite de la pieza hacia la parte superior, se inferirá que todo el contorno aparente de la dovela lo tendremos expresado en el cuadrilátero curvilíneo $a'\ d'\ h'\ g'$.

En cuanto al contorno aparente que corresponde al plano horizontal, se obtendrá con solo trazar normales por los puntos b, c, d, a, las cuales quedarán limitadas al cortar la esfe-

ra exterior en los puntos respectivos g, h, f, e, cuales se deben hallar también sobre las curvas de intersección de los conos de junta con la esfera exterior, curvas cuya construcción se había ya anticipado. Entre dos de estos puntos tales como f, h, podríanse encontrar otros para la obtención de la curva $f\,h$, corte del meridiano de junta $d'\,c'$ con la esfera de extrados, y estos puntos intermedios vendrán á deducirse con las mismas operaciones de que acabamos de hacer mérito para los puntos extremos. Así la proyección horizontal de la piedra vendrá expresada en su conjunto por el contorno $b\,c\,h\,f\,e\,a\,b$.

Escójase en la Fig 227″ un prisma auxiliar labrándolo de modo que sus bases $A\,D\,H\,G$, $A'\,D'\,H'\,G'$ sean iguales al contorno que indica la proyección vertical de la piedra, siendo también conveniente que en cada una de estas bases se dibujen las líneas curvas $e\,f$, $e'\,f'$ relativas á la proyección vertical de la arista exterior correspondiente á la junta inferior señalada en $e'\,f'$ en la figura de la proyección vertical. La separación de estas bases ó altura de este prisma se comprende ahora que ha de ser lo que disten los dos puntos de la proyección horizontal que tengan la propiedad, el uno de ser el más separado del plano vertical y el otro el de serlo menos. Esta distancia aquí sería la perpendicular trazada desde el punto f á la línea $b\,c$.

Teniendo en cuenta ahora que el cilindro $A\,D\,A'\,D'$ es proyectante vertical del paralelo $a'\,d'$, resultará que todo quedará reducido á tomar sobre las aristas $A\,A'$, $D\,D'$ y á partir de los puntos A', D', las distancias $A'\,a'$, $D'\,d'$ iguales á las que existan desde los puntos del espacio al plano de comparación vertical que se levante sobre la línea $b\,c$ relativa á la figura del aparejo. Con esto, y cortando una cercha según la curvatura $a'\,d'$ de la figura 227 alojándola luego de modo que su convexidad se adapte á la concavidad del cilindro labrado, pasando al mismo tiempo por los puntos señalados por a', d', se podrá dibujar dicha curva, la cual, junto con la $e''\,f$, (la $e''\,f$ se ha de deducir de la $e\,f$ situada en el plano de la base, valiéndonos de las distancias respectivas que median de una á otra, tomadas sobre el cilindro que proyecta la curva del espacio sobre el plano vertical, distancias que nos facilita el plano de proyección horizontal siendo de ellas la máxima, la indicada en $e\,e''$ en la Fig. 227″ y la mínima es cero toda vez que las dos curvas parten inferiormente del mis-

mo punto f) servirán para directrices de la junta cónica inferior, auxiliándonos para ello los puntos de marca que acompañarán á cada una de estas curvas directrices puntos, que se habrá tenido buen cuidado de fijar en proyecciones para luego trasladarlos á la piedra junto con las líneas donde están colocados; uniendo luego dos á dos estos puntos pareados que así resulten. Análogas operaciones repetiremos para el trazado del lecho cónico superior, cuya directriz $b'\,c'$ está ya dibujada en la misma base de la piedra y sólo faltará colocar la curva de extrados $g\,h$, $g'\,h'$, para lo cual nos valdremos de varios puntos colocados en la piedra h', g', y otros intermedios cuyas distancias á la base del prisma se podrán deducir de la proyección horizontal; y la línea que pase por todos ellos en el cilindro convexo, será el límite de la junta cónica, y podrá ya labrarse por medio de generatrices que resbalen por esta curva y la mentada $b'\,c'$, las cuales quedarán divididas en partes iguales por las generatrices del cono.

Labradas éstas, se pueden trazar enseguida los planos meridianos, colocando las plantillas $a'\,b'\,g\,e''$, $d'\,c\,h\,f$, y que pueden encontrarse fácilmente en verdadera magnitud y entonces los arcos $a'\,b'$, $d'\,c$ servirán de directrices para el engendro de la superficie esférica de intrados, empleando cerchas intermedias entre $a'\,d'$, $b'\,c'$, que serán partes de paralelo, de la esfera proyectados verticalmente en verdedera magnitud los cuales teniendo en cuenta que dividirán en partes iguales á los meridianos $a'\,b'$, $c'\,d'$, esta misma propiedad nos servirá de norma para su colocación á medida que se haga el desvaste, hasta llegar á obtener ultimada la superficie esférica cóncava.

460. Finalmente, para la superficie esférica convexa de extrados podremos de un modo análogo servirnos como á directrices de las curvas $e''\,g$, $h\,f$, así como de una serie de cerchas variables aquí, cortadas en disposición cóncava para así podernos dar la superficie convexa, recordando empero para la obtención de estas cerchas en su verdadera magnitud en el plano vertical, que aquí el centro de la esfera está en ω.

461. No todas las dovelas se presentan en esta bóveda con iguales disposiciones de forma, pues son muy distintas

una de otra según el sitio que estén destinadas á ocupar y esto es á causa del gran número de superficies, tanto de lecho como de junta, así interiores como exteriores, con que hay que contar, así es que las intersecciones que resultan de la combinación de todas estas superficies y que luego vienen á ser cortadas por los planos de junta, dan gran complicación al contorno de las plantillas y como á consecuencia, dificultades de entidad y no pocas, al tratarse de llevar al terreno de la práctica el labrado de piedras terminadas con tanto ángulo entrante y saliente.

No es que se haya dado esta solución para que precisamente pueda servir de tipo para casos análogos, toda vez como hemos dicho adolece de muchos defectos presentando por cierto contrariedades nacidas de la misma naturaleza de las cosas y algún tanto difíciles de vencer. Se podía recurrir al sistema de despiezo de la bóveda esférica por el método de paralelos horizontales, ó sean conos de junta de eje vertical y tamaños inconvenientes hubieran desaparecido enseguida.

Ha sido pues el objeto principal, al escoger el sistema de paralelos verticales y empleando muros en la parte exterior, como á objeto de estudio, buscando á drede dificultades, pues éstas algún tanto dominadas dan ocasión á que el estudioso pueda practicarse en soluciones difíciles, á la par que conocer lo defectuoso de ciertas disposiciones ó aparejos y así apartarse de ellos, sustituyéndolos por otras más ventajosas.

Así, si en la figura 227 nos hiciéramos cargo de la dovela proyectada en el intrados y verticalmente según el trapecio mixtilíneo $\mu' q' n' v'$, en esta pieza, si tenemos en consideración la $q' n'$ veremos fácilmente, analizándola parte por parte que empieza contando á la esfera de intrados según la curva $q n$, al cono de junta superior según la generatriz $n r$, á la esfera de extrados según la curva $r p$, al plano de asiento según la recta $p p'''$, al paramento posterior según la recta $p'' p'''$, al cilindro horizontal que viene en pos de la junta según la $t' p''$, y finalmente al cono de junta inferior según la generatriz $q t'$. La figura 227''' nos dará idea de la configuración de la piedra de que se trata y en la que no nos extendremos más porque hasta cierto punto entra ya bajo el dominio de las piedras que forman parte de combinación de bóvedas que no tratamos en esta primera parte.

462. La figura 227^{IV} presenta en perspectiva una de tantas soluciones que pueden adoptarse como á consecuencia de la disposición que se ha dado al asiento de la bóveda, así como á la junta quebrada $\varphi\ \phi\ \varepsilon\ \gamma$ de la proyección vertical auxiliar Fig. 227', y aquí mismo se probará por la simple inspección de la figura, que el querer apurar en absoluto el cumplimiento de los cruces en ángulos rectos produce por otra parte algunas veces inconvenientes de mayor monta que no los que serían consecuencia de no adoptar aquel requisito.

NICHO ESFÉRICO

463. Llámase así, la bóveda cuyo intradós es un cuarto de esfera tangente á una superficie cilíndrica recta, de base una circunferencia. Es un detalle arquitectónico empleado muy comunmente como ornato para cobijar jarrones, estatuas, etc., etc. Eran muy empleados en la antigüedad romana, como de ello es bien notorio los ejemplos que nos ofrecen las tan renombradas Termas.

Sea la (Fig. 228, Lám. 45), en donde el plano vertical de paramento, pasando por el centro de la esfera y paralelo al plano de proyección vertical nos la corta según el semicírculo máximo $A' B' C'$. En el plano horizontal la esfera se proyecta según el ecuador $A P Q C$ alrededor del cual se verifica el acuendo con el cilindro recto proyectado verticalmente según el rectángulo $A'' A' C'' C'$. En el paramento se supone que la embocadura del nicho va acompañada de una faja, que lo rodea, faja que se conoce con el nombre de arquivolta, es acusada por el saliente $a'' a A$, en la proyección horizontal, expresándose en el plano vertical su límite por la circunferencia $a' d f b'$ concéntrica con el meridiano principal de la esfera.

Dividamos este arco meridiano en un número impar de partes iguales $A' D'$, $D' E'$..... haciendo pasar luego planos secantes perpendiculares al plano vertical, concurrentes todos al diámetro horizontal de la esfera, proyectado en el punto O.

Mas estos planos que adoptamos como á juntas continuas concurrirían con una excesiva acuidad hacia el punto O de la esfera siendo el grueso insignificante para cada piedra, en el sitio indicado, lo cual haría que el exceso de compresión las aplastara; esto ha sido el motivo de que en este sitio se intro-

duzca una pieza especial que es el trompillón y de que hemos hablado en circunstancias análogas en el caso anterior. Sirve de base al trompillón la sección circular producida por el plano vertical PQ, $P' s' r' n' Q'$, por todos los puntos de la cual se trazan normales á la superficie esférica, todas las cuales vienen á formar una superficie cónica de junta que se limita á poca distancia de la base echando mano de un plano MN paralelo á ella. Este plano MN nos dá la sección circular $M' q' p' N'$ concéntrica con la base y sirve de directriz del cilindro recto $M \mu v N$ perpendicular al plano vertical y que concluye así la superficie de junta superior de toda esta pieza. Las normales antedichas son fáciles de trazar teniendo en cuenta que siéndolo á lo largo de un paralelo de una superficie de revolución han de venir á concurrir en un mismo punto del eje que aquí este punto es el centro de la esfera.

Si tomamos en consideración una junta cualquiera tal como la proyectada en $G r'$ veremos que esta junta corta al paramento según la recta ($G e$, $g e''$), luego corta al resalto de la arquivolta según la recta (e, $e'' e'$) y al ancho de ésta según la recta ($e E'$, $e' E$) luego hace el corte en la superficie esférica según la parte de meridiano ($E' r'$, $E r$), al cono de junta según la generatriz $r' q'$, $r q$, al cilíndro de junta según la generatriz ($q q''$, q') al paramento posterior según la recta ($q' G$, $q'' g'$) y finalmente cierra la plantilla la intersección de la junta con el plano de asiento superior, $g' g$. Las curvas $D s$, $E r$, $F n$ intersecciones de las juntas con la esfera se obtendrán fácilmente por medio de puntos intermedios, echando mano de una serie de planos paralelos y verticales como por ejemplo el JK que nos cortará á la esfera según un paralelo proyectado en verdadera magnitud en el plano vertical y allí cortando á las trazas verticales de los planos de junta tal como por ejemplo al $F' n'$ en el punto m' el cual lo podremos proyectar directamente en su proyección horizontal m; de modo que repitiendo esta operación para todos los demás planos que se escojan llegaremos á obtener la proyección horizontal $n m l F$ de la curva que se quería.

Las juntas se dispondrán en verdadera magnitud para la saca de las distintas plantillas y para esto se harán girar alrededor del eje de juntas que se proyecta verticalmente en el punto O. Así, si nos fijamos en el plano de junta $G r'$ tendremos que la línea G, $g g'$ vendrá á rebatirse en $H_1 H_1'$, los puntos $e' e''$ se rebatirán en $a a''$, el E vendrá en A, toda la curva

$E r$ se confundirá en el rebatimiento con el arco de arranque AP, la generatriz del cono $r q$ así como la del cilindro $q q''$ se confundirán igualmente después del movimiento en las generatrices de arranque PM, $M\mu$; de modo que en la totalidad tendremos la plantilla en su verdadera magnitud expresada en el contorno $H_1 a'' a A P M \mu H_1'$.

464. Labra de la piedra α.—Empiécese labrando un prisma recto (Fig. 228') cuyas bases sean todo el contorno de la piedra en el plano de proyección vertical y cuya altura sea el grueso máximo del muro, con inclusión de molduras ó arquivolta si es que estas acompañen al nicho esférico, colóquense en él las plantillas encontradas de modo que así limiten la junta superior é inferior de lecho, regulando su colocación por las líneas $G G_2$, $G_2 r''$; $I I''$, $I'' s''$, estas plantillas así vendrán colocadas en $G_2 G_1 e e' E r q q''$ la una y la otra en $I' d' d D s z' z'' I''$. Sobre el plano de asiento horizontal superior colóquese la plantilla $H'' G_2 G_1 H$ que se desprende de la misma proyección horizontal. Ahora uniendo I' con H' tendremos ya en las rectas $d' I'$, $I' H'$, $H' G_1$, $G_1 e$ limitado el polígono α que representa la cara de paramento de la piedra de modo que podremos desvastar toda la parte escedente hasta obtener un plano que pase por estas rectas y en él colocar el polígono α' de la proyección vertical, pues una vez esté colocado nos indicará con la curva $e d'$ la intersección del paramento con la arquivolta. En cuanto á la construcción de ésta es bien fácil teniendo en cuenta que con la colocación de las plantillas de junta se tienen ya colocadas las rectas $E e'$, $D d$ de modo que orientándonos con ellas y colocando la plantilla $E e' d D$ deducida de la proyección vertical esto nos dará lugar valiéndonos de las curvas $d e'$, $d' e$ poder trazar la superficie cilíndrica recta que forma el resalto de la arquivolta.

Se procede luego al labrado de la superficie esférica de intrados colocando á este efecto la curva $r s$ en el cilindro auxiliar $s' r' r'' s''$ teniendo en cuenta que los puntos de esta curva equidistan del paramento anterior y que esta separación $s s'$ se desprende de la proyección horizontal, por lo tanto colocada la distancia antedicha en $s' s$, $r' r$ bastará encorvar una regla flexible de manera que alojada en la concavidad del cilindro pase por los puntos r, s señalando luego con el lápiz la línea que la misma indique. Se comprende ahora que las líneas curvas ó sean paralelos de la esfera $D E$, $r s$ puedan

servir de directrices para el movimiento de un cerchón meridiano que se apoye por ellas en los puntos pareados *1-1, 2-2, 3-3....* etc., que dividirán ambas curvas en partes iguales; procédase pues al desvaste de esta parte de superficie tanteando las cerchas indicadas hasta tanto coincida dicho labrado con la curvatura que afecten; así se tendrá la parte esférica $D\,E\,r\,s$; más en el paramento posterior se habrá limitado su plantilla según la línea $z''\,q''$ conforme indica la proyección vertical, y esta curva junto con las rectas $q''\,q'$, $z''\,z$ serán bastantes para desvastar la piedra para el labrado de la superficie cilíndrica recta $q''\,q'\,z'\,z''$ que se apoya sobre el trompillón hasta tanto que podamos limitarlo en su longitud valiéndonos del desarrollo del mismo.

Ya obtenida la curva $z'\,q'$ ésta junto con la $r\,s$ podrán servir para el resto del desvaste y pasar al labrado de la superficie cónica de junta del trompillón $r\,s\,z'\,q'$, y al efecto se dividirán estas dos curvas en un mismo número de partes iguales y los puntos de marca pareados nos darán las generatrices de esta superficie cónica.

BOVEDA VAÍDA

465. Constituye esta bóveda una de tantas variaciones que se desprenden de la esférica al considerar en ella cuatro planos que la cortan levantados los mismos, sobre sus trazas horizontales que forman un cuadrado inscrito al ecuador de la esfera. Resulta según esto que la bóveda vaída tiene por objeto cubrir un espacio en general cuadrado, constando aquella de la parte de esfera indispensable para semejante propósito. Si suponemos á una esfera cuyo ecuador sea (Figura 229, Lám. 46), la circunferencia $E\,G\,F\,H$ y la $H'\,M'\,G'$ la meridiana principal de la misma, que se la corta por cuatro planos verticales levantados por los lados $A\,B$, $B\,C$, $C\,D$, $D\,A$, del cuadrado $A\,B\,C\,D$, inscrito á dicho ecuador; en el corte nos producirán cuatro círculos mínimos iguales; dos paralelos al plano vertical de proyección y los otros dos situados en los planos de perfil ($A\,D$, $A'\,h'$), ($B\,C$, $B'\,g'$); si descartamos ahora de la semiesfera los cuatro segmentos esféricos cercenados entre los planos secantes y la parte exterior de la propia esfera ($B\,G\,C$, $B'\,g'\,G'$), ($D\,C\,F$, $A'\,f'\,B'$), ($A\,H\,D$, $A'\,h'\,H'$), ($A\,E\,B$, $A'\,f'\,B'$), entonces lo que resta de esfera formará la bóveda vaída la cual está sostenida por los muros verticales que forman el cuadrado $A\,B\,C\,D$; recinto á que está destinada á cubrir. Efectuados estos cortes la bóveda quedará tal como muestra la Figura 229'. En esta disposición el conjunto de lo que se trata de aparejar constará de tres partes: 1.º Los *Formeros* que son los planos verticales (Figura 229') que nos han producido las cuatro circunferencias iguales, tales como una de ellas la $A'\,e'\,B'$; forman parte de un muro recto enlazado convenientemente con la construcción superior. Por mejor decir y bajo el punto de vista estricto de su significado, son precisamente los arcos producidos por los planos secantes antedichos y que aquí en este caso particular de la bóveda vaída, están formando parte del muro de recinto. Llámanse *formeros* porque nos acusan con la forma de la sección la clase de la bóveda y la situación relativa de los planos secantes. (*)

2.º *Las pechinas*. Son los cuatro segmentos esféricos de forma triangular comprendidos entre los arcos de los formeros y el paralelo de la esfera que pasa por los cuatro puntos culminantes de los mismos, siendo precisamente tangente é inscrito en su proyección horizontal al cuadrado matriz de estos formeros; así las pechinas resultan ser en las Figurar 229 y 229' los triángulos esféricos $h\,f\,D$, $g\,f\,C$, $e\,g\,B$, $e\,h\,A$, sirven de transición para pasar de la forma del círculo al cuadrado. (**).

(*) Hemos considerado la bóveda esférica, más también se consideran otras, como las elípticas para ser cortadas en disposición análoga por los planos de formero. En la misma esfera en lugar de considerar cuatro planos levantándose sobre un cuadrado, podrían levantarse sobre un rectángulo y también sobre un triángulo, dando origen á un número de variaciones de la bóveda vaída y siempre el plano del recinto en donde está situado el formero, nos cortará en una curva cuya forma indica la de la bóveda y la situación del cuadrado, rectángulo, triángulo, etc. etc., inscrito en el contorno general y que ha regulado el contorno. Otras veces en la bóveda vaída no existen estos cuatro planos verticales del recinto, quedando vacíos los espacios, entonces los formeros lo constituyen en potentes arcos torales que sostienen la cúpula; pero esto da lugar á una variante del problema que no tratamos en este caso, por ocuparnos solamente de bóvedas simples. Filiberto Delorme fué el primero que dió este nombre á semejante detalle, que ya se había empleado en las Arquitecturas Bizantinas y de la Edad Media aunque con alguna variante en esta última.

(**) Parece que las pechinas ya eran conocidas de los antiguos, testimonio ofrece de ello una tumba antigua situada sobre la vía Nomentana próxima de Roma, allí se descubre la forma cuadrada unida con la circular por medio de pechinas perfecta-

3.° Finalmente la esfera propiamente dicha reducida al casquete esférico proyectado horizontalmente dentro el círculo $e\,g\,f\,h$ y verticalmente en la figura $h'\,f'\,g'\,M$ representado con iguales letras en la (Fig. 229') prespectiva de la misma.

466. El problema está según esto reducido á las pechinas y su enlace respectivo con los formeros; y al efecto de estudiarlo en sus detalles, cortemos á la esfera por un plano vertical levantado por una de las diagonales $A\,B$ (Fig. 229") del cuadrado de la planta, escogiendo este plano como de proyección vertical, pues así será más fácil hacerse cargo de la combinación de líneas que forman los distintos detalles; en este estado y después de haber fijado los gruesos de los muros; procedamos al encuentro de la intersección de los planos formeros con la esfera; pues aunque es bien sabido son circunferencias en el espacio de diámetro $A\,C$ lado del cuadrado inscrito en la circunferencia del ecuador, aquí en este caso se proyectarán según elipses atención hecha á la elección especial del plano vertical.

Dividamos el arco meridiano principal $A'\,E\,B'$ en un número impar de juntas iguales a', b'... etc., por los cuales se conducirán una serie de planos horizontales cortando á la esfera en círculos proyectados así horizontalmente, trazándolos fácilmente con los radios $O\,a$, $O\,b$... etc. de éstos, unos estarán completamente terminados; los mas al centro de la bóveda ó sean de menos diámetro, pero otros quedarán interrumpidos por oponerse á su continuación los planos verticales de los formeros. Así el de radio $O\,a$ quedará terminado en m-m, n-n... etc., cuyos puntos proyectados verticalmente en su paralelo serán m' proyección en donde se confunden los dos primeros m, m y luego los otros dos en n', n'. Lo mismo el paralelo de radio $O\,b$ nos dará los puntos q-q', p-p' y así los demás hasta que lleguemos á un paralelo límite á partir del cual no encontraríamos más puntos, este es el paralelo tangente á la traza horizontal del plano $A\,C$ que nos daría el solo punto que es de tangencia h, h' él cual permitirá ya la circunferencia entera.

mente acentuadas. Pero ya se ha dicho en los números 60 y 62 que fueron uno de los rasgos característicos de los templos Bizantinos como en Santa Sofía de Constantinopla, la Iglesia de Jerusalén, San Marcos de Venecia, las Iglesias de Arezzo, Trento, de San Antonio de Padua, etc., etc.

Es evidente que todos los puntos así encontrados son de intersección de la esfera con el plano del formero, y en este supuesto, uniéndolos entre sí la curva que así resulte $A'\,m'\,q'\,h'\,p'\,n'\,O'$ será la elipse proyección vertical de la circunferencia de intersección. De igual modo encontraríamos la otra de la izquierda y entre ellas quedará ahora completamente deslindada la proyección ($h'\,O'\,H'$, $h\,C\,H$) lo propio que las otras dos laterales $h\,g\,h\,A$, $H\,G\,H\,B$.

Las secciones horizontales que hemos trazado nos servirán ahora para adoptarlas como á línea de junta continua. En la esfera serán circunferencias sirviendo de directrices á las superficies cónicas de junta conforme vimos al tratar de la bóveda esférica; en los muros formeros serán líneas rectas y las juntas planos horizontales, veamos pues el estudio de combinación de las hiladas cónicas con las que componen los sillares del muro, combinación que no más tiene lugar alrededor de la pechina.

El plano de asiento en donde descansa el extrados de la bóveda lo suponemos á la altura del plano horizontal que pasa por $A_1''\,B_1''$ dada por el punto β' en donde la normal meridiana que parte del punto b' corta al extrados; partiendo de este dato se evitan muchas complicaciones producidas por ángulos entrantes y salientes, que ya de por sí abundan en esta bóveda al querer cumplir con las condiciones de normalidad.

A lo largo del trecho de paralelo p-p, la junta de la esfera es bien sabido que será un cono de revolución cuyas generatrices límites concurriendo al centro O serán $p'\,\pi'$, $p\,\pi$ y como éstas rebatidas en el meridiano principal se confunden con $b'\,\beta'$ se infiere que el punto β' es aquel en donde cortan al extrados y por lo tanto trasladado á su verdadero lugar se situará al girar alrededor de la vertical O en los puntos $\pi\,\pi'$, de modo que este trecho de junta cónica cortará al extrados esférico según la circunferencia proyectada verticalmente según la recta $\pi'\,\pi'$ y en el plano horizontal en el arco en verdadera magnitud $\pi\,\pi$. (*)

Más la hilada de la esfera, que corre á lo largo de la línea de junta p'-p' corresponde á la hilada $p'\,q'$ que está á la misma altura en el plano ó muro del formero y de aquí que

(*) Pues es bien sabido que dos superficies de revolución que tengan un eje común; de cortarse lo harán según paralelos comunes á las dos.

sea preciso que las dos sean solidarias entre sí. Una pequeña faceta inclinada será la que salve el desnivel entre ambas juntas; al efecto tracemos en el plano horizontal p' q' una recta que parta de (p, p') y perpendicular al paramento A C, esta recta será p f y ella junto con la normal (p π, p' π') nos determinarán el plano f p π en forma de faceta triangular que se proyecta verticalmente en f' p' π' y dará el enlace definitivo de las dos juntas. Igual operación se verificará en los tres ángulos restantes del recinto, así como también en la primera hilada n'-n'.

467. En cuanto al despiezo de los muros formeros y el que corresponde á la esfera superior en su casquete se verificará según lo prescrito al tratar estos detalles en su respectivo lugar; únicamente se hará notar la conveniencia para con respecto á las juntas discontinuas de muro de escoger las x z, v n lo más próximas que sea posible á la hilada cónica con el fin de que no resulten demasiado extensos los ramales z n', v O' en razón de que no resulten piezas de gran tamaño, lo cual haría exagerado el desvaste en contra la economía que ha de presidir en todo trabajo.

La esfera exterior vendrá cortada también por los paramentos de los muros según trechos de arcos de circunferencia proyectados en el plano vertical por los arcos de elipse π' I' Q' deducido por las intersecciones sucesivas de cada paralelo con los planos como el K B_1. Así el paralelo que parte del punto I tangente á K B_1 nos dará el punto culminante I' pues el punto P nos dará en altura el P' y de él deduciremos la horizontal P' I' sobre la cual se situará el I'; otro paralelo cualquiera; el que pasa por θ nos dará el punto (R, R') y así todos los demás.

468. **Labra.**—Si escogemos la dovela de la segunda hilada y referente á la pechina, el prisma capaz tendrá por bases la máxima proyección horizontal z' z p p v y' k y por altura la mayor separación que aquí es la que existe entre las horizontales π' π', z v del plano vertical.

Este prisma ya preparado está en la Fig. 229''' desde luego en el cilindro vertical p p p'' p'' podemos aplicar la cercha p'-p' sacada del plano horizontal, tomando antes las alturas p p' á derecha é izquierda igual á la altura del dato. Por oposición en el plano horizontal inferior que pasa por z' z p p v alójase

la pequeña cercha $n'n'$, no sin que con antelación se hayan tomado las distancias z n', v n' prolongando para ello lo necesario las rectas z p, v p. Ya desde luego en los planos x' z p, v' v p se colocarán las plantillas del formero x' z n' p' (reducidas rebatiendo el plano del formero en la (Fig. 229''); más estas dos plantillas ocuparán su lugar debido en la piedra, no sin que antes se proceda con mucho cuidado á descartar la pequeña excedencia que á ello se opone en las inmediaciones del ángulo entrante, y decimos con mucho cuidado porque una pequeña distracción del obrero bastaría para malograrse el trabajo por haber quitado piedra con exceso que servir debe á la pechina. Al efecto á medida que maneja el cincel va ensayando repetidas veces la colocación de la plantilla hasta tanto que pueda dibujar en su justo límite las dos curvas p' n'. En este estado, estas dos curvas sirven de directrices para el apoyo de las cerchas *1-1*, *2-2*, *3-3*... etc., colocadas todas bien horizontales y cortadas según los distintos paralelos que median entre la altura de los puntos x, z. Estas cerchas nos las dará la proyección horizontal y su lugar geométrico proporcionará el trecho de pechina p' p' n' n'.

En la parte superior y en el ángulo saliente k se dispondrá la plantilla triangular mixtilínea π' k π' que se proyecta en la figura de la proyección horizontal en su verdadera magnitud, de modo que ahora con las curvas π' π', p' p' puede labrarse el cono de juntas π' $\pi' p'$ p' con sólo dividirla en igual número de partes, desvastando todo lo que se oponga á unir dos á dos los puntos pareados *1* con *1*, *2* con *2*, *3* con *3*... etc.

Limítense luego los planos horizontales de las hiladas del muro en los rectángulos x x' p' f, p' v' y' f según indique la proyección horizontal, y entonces la unión de f con π' nos dará la recta f π' que limitará las facetas planas triangulares p' f π' que salvan los desniveles.

466. Se comprende ahora que esta última operación ha de repetirse invertida al considerar el plano horizontal superior que pasa por z' z p.; más en general no hay necesidad de esta operación, pues en la parte inferior se omiten el cono y los resaltos en faceta, prefiriendo la hilada que esté formada por un plano horizontal de asiento tal como indica la Fig. 229^{IV} sacrificando algún tanto las condiciones geométricas de normalidad (puesto que la acuidad de por sí ya no es mucha cuando el lecho está próximo al arranque de la esfera) en obsequio

á facilitar la puesta en junta haciendo salir los cuerpos entrantes y salientes anteriores.

469. No siempre las normales $p' \pi'$ cortan á la vez y en un mismo punto π' al plano vertical $A_1 K$ y á la esfera de extrados, pues según sea la situación del referido plano $A_1 K$, como por ejemplo si estuviera situado en $A_2 K_2$, entonces la normal cortaría antes á la esfera que á este plano teniendo necesidad de extenderse la faceta para poderlo alcanzar, trazando al efecto la perpendicular $\pi \pi''$ y prolongando más la $p f$, adquiriendo la piedra la forma que indica la (Fig. 229^{V}) en la cual las facetas son trapeciales tal como la $p \pi \pi'' f''$.

Pero otras veces esta solución es engorrosa, además de presentarse con alguna dificultad cuando el grueso del muro es considerable, pues en este caso el resalto trapecial de que se trata sería de una dimensión exagerada; al objeto de evitar este contratiempo se limita el extrados de la bóveda prescindiendo de los cuatro planos verticales exteriores limitando el grueso de otros cuatro planos verticales y paralelos á aquellos y más próximos al centro reduciendo así de esta manera las facetas trapeciales, apareciendo menos resaltos de unos á otros planos, lo cual viene indicado en la Fig. 229^{VI}, este resalto está expresado en la altura de faceta $f' \pi'' \pi' p'$ así como en la separación del cuerpo limitado por $f' \pi'' N \pi'' f p' p$; á los planos exteriores $x K$, $v K$.

470. Finalmente, al objeto de atenuar algún tanto las dificultades que resultan de los cuerpos salientes de las facetas que enlazan los conos de junta con planos horizontales de hilada, sin renunciar por esto á la normalidad del lecho cónico con respecto á la esfera; pueden escogerse los paralelos de hilada de la esfera un poco más bajos que sus correspondientes líneas de hilada de los muros tal como muestra la (Fig. 229^{VII}) en este caso el cono normal á la esfera á lo largo de la línea p-p' cortará al plano horizontal del sobrelecho del muro según la curva circular $\pi \pi$, siendo π la intersección de la normal que parte del punto p. La unión de π con a nos limitará la faceta plana $a \pi p$ la cual cortará al plano del formero según la recta $a p$ cuerda del trecho de arco del mismo nombre, lo cual vemos que alterará algún tanto en el punto p la curva $p q$ pasando de curva á recta en el punto p, aunque siendo la diferencia tal que esta alteración no llegaría á dis-

tinguirse al natural. Más si á tal rigor quisiéramos llevar las operaciones hasta el punto de no alterar para nada la curva $a p q$ entonces hágase la faceta $a \pi p$ que sea cónica, tomando como á directriz el trecho de curva $a p$ y por vértice el punto π.

471. La (fig. 229^{VIII}) muestra para la mejor comprensión del conjunto una perspectiva interior de la bóveda mientras que la (fig. 229^{IX}) la que corresponde á la parte exterior expresando como vienen colocadas las juntas en su combinación.

El sistema de despiezo que se ha adoptado obedece al más racional y que ordinariamente se emplea cuando se trata de la bóveda esférica, esto es echando mano de líneas de junta continuas horizontales, por cuya razón se llama sistema de *juntas continuas cónicas de eje vertical* para distinguirlo del llamado de *juntas continuas cónicas de eje horizontal* y que ahora vamos á aplicar como á segunda solución de la bóveda que nos ocupa, teniendo en cuenta que muchos son los casos que este sistema puede comprender y depende cada uno de ellos de la disposición que obtienen las líneas de junta continuas consideradas en una misma hilada, pero el aparejo y construcción son semejantes uno del otro.

Segunda solución de la bóveda vaída.

472. Sistema de juntas cónicas de eje horizontal. (Fig. 230, Lám. 47). Con los mismos datos anteriores y después de haber dividido el arco meridiano en un número impar de partes iguales $A' a' a' b'$, y de haber proyectado estos puntos de división en el plano horizontal en a, b, c, d, k, trácense por ellos una serie de rectas $a m$, $b q$, $c t$, $d x$, $k z$ en dirección perpendicular á la línea de tierra, tomando enseguida sobre ellas las distancias $k z = o k$, $d x = O d$ construyendo enseguida los cuadrados $z z z'' z''$, $x x x'' x''$ y en cuanto á las otras líneas $t t$, $g q$, $m m$ sobre las cuales no se han podido trazar las distancias $O c$, $O b$ por no permitirlo el alcance de las mismas y quedar interrumpidas en los límites del recinto servirán no más de norma para el trazado de las análogas á ellas en los tres ángulos restantes conduciéndolas paralelamente á los lados respectivos que les correspondan del cuadrado. Así es por ejemplo las líneas $c t$, $c'' t''$ convenientemente prolonga-

das formarían los lados de un cuadrado concéntrico con los ya trazados.

Si concebimos ahora planos verticales que se levanten sobre cada uno de los lados de estos cuadrados ya se les considere ó no, completados, dichos planos cortarán á la superficie esférica en dos agrupaciones de círculos menores los unos paralelos al plano vertical y los otros en planos de perfil, y estos arcos circulares son los que se toman en este sistema como á líneas de junta continuas. Veamos ahora el trazado de las mismas; las líneas que componen por ejemplo, el cuadrado $x\,x\,x''\,x''$.

Es evidente que al cortar el plano vertical $x\,x$ á la esfera le corta según un arco circular cuyo punto más alto está proyectado en d, d' sobre el meridiano principal, punto cuyo homólogo situado sobre el que corresponde á la mitad de la sección circular $x\,x''$ paralela al plano vertical estará situado á la misma altura en d''' sobre el plano de perfil central y teniendo en cuenta la propiedad de ser éste plano paralelo al vertical el arco se proyectará en verdadera magnitud pudiéndole trazar enseguida haciendo centro en O con el radio $O\,d'''$ terminando en $x'\,x'$ proyecciones verticales de los $x\;x''$, así también quedan pues determinados los arcos laterales $d'\,x'$, $d'\,x'$.

Más si de la determinación se trata de los arcos interrumpidos y que forman parte de la pechina, por ejemplo; el que pertenece á la segunda hilada, entonces, como antes al punto b' del meridiano le corresponde el β' en el eje central, pudiéndose trazar inmediatamente con el radio ó β' el arco $p'\,p'$ terminado al encontrar los planos formeros en $p\;p$, en la proyección horizontal, trasladándolos luego en la proyección vertical. De este modo se encontrarían los $x'\,x'\;z'\,z'$ $n'\,n'$... etc.

Cada uno de éstos va á servir ahora de directriz á una superficie cónica de junta, teniendo vértice en el centro O de la esfera y de eje horizontal. Así, considerando la hilada $p'\,\beta'$ p' las normales á los puntos extremos serán las $p'\;\pi'$ concurrentes al centro O, cortando al extrados de la esfera en los puntos $\pi'\,\pi'$ los cuales se hallarán rebatiendo p' en el meridiano principal y combinando la normal rebatida $p''\;\pi''$ con la meridiana de la esfera exterior, obteniendo de este modo el punto π'' el que se trasladará luego de nivel sobre las normales primitivas en $\pi'\;\pi'$; de modo que trazando ahora un arco

circular que es el expresado de puntos y que va de π' á π' nos indicará así esta línea la intersección del cono de lecho con la esfera exterior. Así encontraríamos las demás líneas análogas, las cuales vemos que gozan de las mismas propiedades que las líneas de intrados, esto es, de proyectarse verticalmente según arcos de círculo concéntricos y horizontalmente en rectas tales como $f\,f$ que indican al mismo tiempo las trazas horizontales de los planos verticales que contienen á aquéllas, y efectivamente, así había de ser por ser concéntricas las superficies de intrados y extrados.

473. Aquí como en el caso anterior es necesario salvar las alturas distintas que existen entre los lechos cónicos y los horizontales de los muros, valiéndonos de los mismos procedimientos, esto es con el auxilio de las facetas triangulares tales como las $t'\;p'\;\pi'$; siendo también muy poca la diferencia que existe en la labra de la piedra (Fig. 230'') la cual discrepa no más en la labra del cono de junta y en el modo de situar sus directrices $p'\;\beta'\;p'$, $\pi'\;\pi'$. En cuanto á la primera convendrá labrar de antemano el plano vertical que la contiene y que expresa la figura en $p\;s\;s'\;p$ y en el colocar enseguida el arco circular $p'\;\beta'\;p'$ deducido de la proyección vertical que allí está en verdadera magnitud indicándonos á la vez su altura y las distancias $s\;\varphi$ de este plano auxiliar á las testas de los sillares, y en cuanto á la segunda $\pi'\;\pi'$ y una vez labradas que sean las facetas laterales se procederá á la colocación de la cercha circular $\pi'\;\pi'$ de la proyección vertical hasta que coincidan sus puntos extremos con los vértices salientes de las facetas, ensayando su colocación varias veces permaneciendo bien vertical en el descalce que lentamente se vaya practicando á lo largo de la línea $\gamma\;\gamma'$ que representa la proyección de esta curva sobre la base superior del prisma capaz. Ya determinadas estas directrices la división en el mismo número de partes iguales, en ellas nos irán indicando puntos de marca por los que de dos en dos nos darán las posiciones de las generatrices del lecho.

En cuanto á la línea de junta inferior $n'\;n'$ se colocará también con una pequeña cercha principal descartando al efecto toda la parte del plano vertical auxiliar que antes habíamos empleado en p, s, p, colocando al efecto definitivamente las plantillas del formero con sus curvas $p'\;n'$ y en este estado es cuando puede ensayarse la pequeña cercha verti-

cal, de manera que sus extremidades pasen por los puntos n', n' pudiéndose ya labrar enseguida la superficie esférica de la pechina encerrada dentro del cuadrilátero curvilíneo $p'\ n'\ n'\ p'$.

La (Fig. 230') representa la piedra labrada que corresponde al arranque de la pechina, la que por su situación especial su cono de junta viene á ser cortado por el plano horizontal de asiento, limitándose según esto por la hipérbola $\delta\ \delta'\ \delta''$, sin embargo aquí, como en el caso anterior es preferible prescindir de la junta cónica y facetas laterales y emplear en su lugar una sola junta de asiento horizontal tal como aparece en la (Fig. 229^{IV}, Lám. 46) pues así se evitan complicaciones, se facilita la labra sin que se incurra en gran error de normalidad, en atención á que el plano de asiento antedicho está próximo al arranque.

También como en el caso anterior podría suceder que el grueso del muro fuese considerable, así como el grueso de la bóveda, lo que obligaría á extenderse demasiado las facetas triangulares y al objeto de evitar tal dificultad pueden emplearse unos resaltos más reducidos de forma trapecial, limitados (Fig. 230''') por un plano horizontal $A\ B\ C$, en cuyo caso el cono de junta quedará limitado por una hipérbola $x\ z\ y$.

Puede del mismo modo adoptarse la disposición de la (figura 230^{IV}) colocando los arranques $a\ b$ de la línea vertical de junta del cono más bajos que la línea de asiento $m\ n$ de los muros, limitando el cono de junta en la hipérbola $x\ y\ z$ producida por el corte de dicho plano de asiento con el propio cono y entonces las facetas triangulares laterales serán entrantes y embebidas en la misma piedra disminuyendo de un modo notable el desvaste que se producía al adoptar las facetas salientes. Las facetas que aquí se producen $a\ x\ n$, $b\ n\ z$ pueden ser planas ó en superficie cónica según las consideraciones que hagamos en su generación y conforme hemos visto en la (Fig. 230^{IV}).

La (Fig. 230^{V}) representa una vista en perspectiva, interior de la bóveda, así como la (Fig. 230^{VI}) nos da ejemplo del conjunto de esta misma bóveda por la parte interior.

BÓVEDA PARABOLICA

474. Un recinto circular puede cubrirse también valiéndonos de un paraboloide de revolución, eje vertical, escogiendo la línea meridiana (Fig. 232, Lám. 48) $A'\ B'\ D'\ C'$ de modo que sea una parábola cuyo eje $O'\ C'$ sea aquel en que está sujeto el giro; la superficie de intrados que así engendramos al girar la parábola conforme se ha indicado es lo que constituye la bóveda parabólica.

Por lo referente á la superficie de extrados puede determinarse también por medio de otra superficie parabólica ó valiéndonos de otra superficie de revolución engendrada por una meridiana $b'\ d'\ c$ que sea tal que su separación á su correspondiente de intrados vaya aumentando desde el vértice al arranque para tener más apoyo en los puntos del contraresto; también obedece á este fin el aumento de grueso que se produce con la introducción del cilindro vertical del apoyo, cuyo cilindro está engendrado por la generatriz $F\ f$ dándonos así uniéndose con la bóveda el retallo $F\ f\ b'$.

475. Pocas serán las explicaciones con que habremos de entrar en esta bóveda si recordamos lo que se dijo en la esfera pues las prescripciones que allí establecimos son igualmente aplicables en este caso. Así las líneas de junta continuas, serán paralelos de la superficie trazados á las alturas distintas de cada una de las divisiones que en un número impar se hayan practicado en la curva meridiana y en cuanto á las superficies de lecho, serán conos de revolución de eje vertical, cuyas generatrices serán respectivamente normales al intrados, así es que si consideramos el cono cuya base parte del punto B', su generatriz correspondiente situada el plano meridiano principal será la $B'\ b'$ y ésta al girar el plano meridiano, nos engendrará la superficie cónica de junta de que se trata comprendida entre los dos paralelos de intrados y extrados que parten de los puntos B', b'; pero aquí cada una de estas juntas continuas, los conos que las constituyen tienen vértices distintos unos de otros pues si bien todos estarán situados en el eje de giro se encontrarán sin embargo en él, á distintas alturas ω, ω',.... etc., esto es todo lo contrario de lo sucedido en la bóveda esférica en donde los vértices de los conos referidos se confunden en un solo punto, cual es el centro de la esfera y todo esto en virtud de que allí la curvatura de la línea meridiana era perfectamente uniforme.

Por lo referente á las juntas discontinuas que habrán de dividir en partes cada una de las hiladas ó anillos circulares formados por las juntas de lecho, se emplearán como hicimos

con la esfera una serie de planos meridianos que pasen por puntos convenientemente dispuestos y que de antemano hayamos colocado en la planta circular al objeto de dividirla en un número de partes iguales y de tal modo, que cada una de ellas tenga las dimensiones convenientes y proporcionadas al volumen de las piedras que queramos emplear, su proyección vertical se determinará fácilmente pues si se trata de la que está contenida en el plano vertical $O\,p$ no habrá más que tener en cuenta las intersecciones de esta línea tales como $r\,m$..... etc., con sus respectivos paralelos, proyectando enseguida estos puntos de intersección á las alturas indicadas en el plano vertical, la unión de todos estos puntos juntos con el c nos darán una línea que alternaremos con respecto estas hiladas y será la línea de junta discontinua.

476. Si nos fijamos ahora en la dovela cuyo intrados sea el cuadrilátero mixtilíneo de la proyección horizontal $s\,n\,m\,r$ que obedece á la proyección vertical $s'\,n'\,m'\,r'$ ésta podrá terminarse fácilmente trazando por los cuatro puntos vértices de esta superficie de intrados las normales respectivas $m'\,p'$, $n'\,q'$ hasta que corten al extrados en los puntos (p, p') (q, q') y las otras dos inferiores, $r\,t$, $r'\,t'$, $s\,x$, $s'\,x'$, que cortarán en los puntos t', x' al extrados, cortando así dichos planos de junta al extrados según las curvas meridianas, $p\,t$, $q\,s$ que prolongadas pasarán por el punto c y cuya totalidad para el buen trazado de cada una de ellas se podrá hallar lo mismo que hemos indicado para las líneas de junta de intrados.

Según todo lo dicho se infiere que la dovela escogida la tendremos completamente determinada por medio de sus proyecciones cuales son en el plano vertical el contorno $q'\,p'\,m'\,r'\,s'\,x'$ y en el plano horizontal por $m\,n\,x\,t$. Varios son los medios que podemos adoptar para el labrado de la piedra y uno de tantos aquí en este caso particular, es el del sistema de la proyección de la dovela sobre un plano de simetría, aprovechando la propiedad de ser idénticas las dovelas pertenecientes á una misma hilada, lo cual hace que las operaciones que hagamos en una pieza sirvan y tengan igual aplicación en todas las restantes de la hilada referida.

Para esto concebiremos la dovela escogida sea cualquiera la hilada de que se trate, que gire alrededor de su eje $O'\,C'$ hasta tanto que el meridiano que pasa por el centro de ella dividiéndola en dos mitades iguales venga á colocarse paralelo al plano de proyección vertical en la situación $O\,G$ y entonces es evidente que las dos mitades vendrán á proyectarsenos en un solo contorno en dicho plano vertical.

477. Mas al objeto de que las operaciones resulten más claras é inteligibles supondremos efectuada esta operación en escala mayor en la (Fig. 232') en donde la proyección horizontal es $G\,H\,g\,d\,D$ y la proyección vertical $E'\,D'\,B'\,A'\,H'\,F'$ siendo $O\,I$ el plano de simetría, en esta disposición nos proponemos extraer la piedra del prisma capaz, menor posible y limitado por superficies planas que envuelvan á la misma, y bajo este concepto este prisma se obtendrá imaginando el plano subtendente $B'\,D'$ así como el tangente $H'\,K'$ en el punto H' al extrados. prolongando el plano horizontal $F'\,E'$ hasta K'; de modo que así habremos llegado á circunscribir á la proyección vertical un polígono limitado por simples rectas formando el contorno $K'\,E'\,D'\,B'\,A'\,H'$: Suponiendo ahora un prisma que tenga por base esta figura y por longitud la $G\,g$ máxima de la piedra, este será el prisma capaz que contendrá la dovela.

El artificio ahora del sistema estriba en construir otro segundo prisma auxiliar deducido del primero labrado y resultado de haber cortado este último por las superficies cónicas de junta suficientemente prolongadas así como también por los planos verticales que constituyen las juntas discontinuas.

El primer prisma auxiliar lo suponemos ya labrado en la (Fig. 232'') limitado por las letras $K\,H\,A\,B\,D\,E\,E'\,D'\,B'\,A'\,H'\,K'$ y en él colocaremos en cada una de sus caras las plantillas de intersección que resulten, así, si nos fijamos (Fig. 232') en el plano horizontal $K'\,E'$, este viene á ser cortado por la superficie cónica superior según la circunferencia $E\,F\,e$ que visiblemente es un paralelo de la junta que está situado sobre el mismo plano horizontal de que se trata, además este mismo plano horizontal viene á ser cortado por los planos verticales de juntas alternadas según las rectas $E\,k$, $e\,k'$ resultando con esto la plantilla de intersección auxiliar $E\,F\,e\,k'\,k$ la cual ya está en verdadera magnitud y apropósito para emplear por encontrarse en un plano horizontal, más al objeto de poder disponer de todos estos patrones de manera que se puedan ver sueltos ó aislados sin ninguna combinación con las proyecciones de la piedra, haremos girar

el plano $K' E'$ alrededor del eje K' colocándolo en el plano $H' K'$ y luego girando éste alrededor de H' hasta colocarlo paralelo al plano horizontal, y entonces vendrá definitivamente á colocarse en $E'' F'' e'' k' k$ el cual rayaremos, y para mayor brevedad le conoceremos por α colocándolo en en la (Fig. 232'') en α sobre el plano horizontal $K E$, fijándonos solamente para la colocación de las distancias $K k$, $E E''$ las cuales serán respectivamente iguales á las distancias horizontales $k' K'$, $e \varepsilon$ de la (Fig. 232'), en esta encontramos luego la sección que producen en el plano $B' D'$ el cono superior y las juntas laterales. Estas últimas, es evidente que cortan á dicho plano según las rectas proyectadas horizontalmente en $B D$, $b d$, mientras que del cono de junta tenemos ya directamente dos puntos situados en este plano cuales son los D, d proyectados en uno solo D' en el plano vertical. Si quisiéramos un punto intermedio entre los dos, tal como por ejemplo el que está situado sobre la generatriz $C F'$ no tendríamos más que prolongar esta recta la cual nos cortaría en n al plano $B' D'$ cuyo punto proyectado horizontalmente pertenecería á la proyección horizontal de la curva. Hágase luego girar el plano $D' B'$ alrededor del eje D' hasta que se disponga paralelo al plano de proyección horizontal y allí tendremos la verdadera magnitud del segundo patrón auxiliar, el punto n viene en n', y éste se proyecta en C'', los puntos $B b$ se rebaten directamente en $B'' b'$ y la plantilla en conjunto viene expresada por el contorno $D C'' d b' B''$ que rayaremos y se conocerá por φ.

Tómese pues esta plantilla y colóquese en la (Fig. 232'') en el plano $D B D' B'$ tal como expresa la letra φ, haciendo que el punto B'' diste del extremo B la cantidad $B b$ de la proyección horizontal, cual distancia nos indica la separación del punto B al plano de base del primer prisma auxiliar.

Es evidente ahora que si unimos E'' con D'', e con d obtendremos sobre la cara $E D D' E'$ un nuevo patrón que significará estar producido por el corte de dicho plano con los dos de junta laterales.

Pasando ahora á considerar en la (Fig. 232') el plano horizontal $A' B'$, éste por su disposición particular nos indica en la proyección horizontal el patrón producido también por la intersección del cono inferior con los planos de junta laterales y aunque este patrón lo tenemos indicado en $A' B A b A''$, sin embargo lo haremos girar alrededor del eje B' hasta que se coloque en el plano $B' D'$ girando luego éste alrededor del eje D' hasta que sea paralelo al plano horizontal, en cuya operación vendrá la plantilla á colocarse en $B'' A^{IV} A'' A''' b'$ y para mayor brevedad apellidaremos por ψ haciendo la colocación en la (Fig. 232'') de modo que llevando la coincidencia con los puntos homólogos B'', b' que ya estaban colocados con el anterior patrón, la plantilla ψ tomará la disposición que muestra la piedra. Mas los planos verticales de junta discontinua cortan al plano $H A A' H'$ según dos rectas $G' A'''$, $G' A^{IV}$ las cuales se obtienen fácilmente porque los puntos A'', A^{IV} ya se han colocado con la plantilla ψ, mientras que los otros dos G, G' se deducirán tomando la distancia $A G$, $A' G'$ iguales á la distancia $A' \theta$ de la proyección vertical. Si luego trazamos por los puntos G, G' las verticales $G M$ $G' M'$, éstas representarán las intersecciones de las bases del prisma auxiliar con los planos laterales de junta. Estas líneas verticales tienen su representación en proyección horizontal en los puntos G, g y en la proyección vertical por la arista $\theta\theta_{\prime}$, si inspeccionamos ahora bien la (Fig. 232'') vemos que los planos de corte laterales han cortado al prisma auxiliar según los contornos $k E'' D'' B'' A''' G M$ y el $k' e d b' A^{IV} G' M'$ y como los puntos k, k' son los primeros de las intersecciones y los M, M' son los últimos y los cuatro situados en el plano posterior $K M$, $M' K'$ se infiere que las rectas $k M$, $k' M'$ son las intersecciones de dicho plano posterior con los mencionados planos laterales. Desvástense pues los extremos del prisma auxiliar hasta obtener los planos que nos indican todas las líneas que constituyen los contornos de sección que acabamos de producir.

Sólo falta ahora colocar en el plano $K H$, $H' K'$ la curva $h'' H'' h'$ que verdaderamente constituye otro patrón, que denominamos β y no es más que la intersección de la junta cónica inferior con el plano tangente $H' K'$ (Fig. 232'); cual línea se encontrará prolongando distintas generatrices del cono hasta que vengan á ser cortadas por la recta $H' K'$ cuyos puntos trasladaremos luego en la proyección horizontal y cada uno sobre la generatriz que en esta proyección corresponda. Hágase girar luego el plano $H' K'$ alrededor del eje horizontal $(H', h h')$ hasta que sea paralelo al plano de proyección horizontal, en cuyo estado nos dará la plantilla β que deseábamos, colocándola enseguida en el prisma que se labra en la (Fig. 232''). Mas como $h'' h'$ son los últimos puntos

de esta curva, se inferirá que á partir de ellos aparecerán otras dos curvas $h'' G$, $h' G'$ las cuales representan dos partes de hipérbola, producidas por la sección del cono de que se trata, con las bases del primitivo prisma auxiliar.

Nos falta tan sólo para disponer de todos los datos que van á limitar la piedra y que son inherentes al labrado, los desarrollos de los conos de junta superior é inferior, dentro de los límites que interesan á la dovela de que se trata. Estos desarrollos están expresados en la (Fig. 232') por π y μ, ambos á dos son sectores circulares porque los conos son de revolución de centros respectivos ω, ω' y de radios $\omega C'$, $\omega F'$ el primero y $\omega' A'$ $\omega' H'$ el segundo, siendo sus bases circulares igual á la cantidad lineal á que alcanzan cada uno de los paralelos, tanto de intrados como de extrados, que pertenecen á la piedra.

Suponiendo, pues, que se han hecho ya las operaciones de desvaste á la piedra auxiliar representada en la (Figura 232'') la tendremos ahora representada en la figura siguiente, en la cual pasaremos á una tercera forma que será la definitiva. (Fig. 232''').

En primer lugar, las curvas $E'' e$ y $D'' C'' d$ servirán de directrices á una superficie cónica, cuyas generatrices $1'$-$1''$, $2'$-$2''$, $3'$-$3''$ cuyos puntos de marca los obtendremos dividiendo estas dos curvas en un número de partes iguales, y labrada que sea esta superficie tómese el desarrollo π sobre ella haciendo la coincidencia de los cuatro puntos $E'' D'' d e$, y entonces la curva anterior del desarrollo tomará la disposición de la curva $D'' 1'' 2'' 3'' d$ quedando aquí limitada la verdadera superficie cónica aprovechable.

Auxiliados de las curvas $G h''$, $h'' H''$ h''', $h''' G'$ por una parte, y por otra de la $B'' A'' b'$ considérense como directrices de la superficie cónica inferior, valiéndonos de puntos de marca situados en ellas hallados en su tiempo en las proyecciones del aparejo, estas generatrices que parten de los puntos $1'''$, $2'''$, $3'''$ nos servirán de guía para el desvaste y obtención del cono, sobre el cual colocaremos inmediatamente el desarrollo μ haciendo aquí la coincidencia con los puntos B'', b' confundiéndose así la curva correspondiente con la línea $B'' A'' b'$ y entonces el patrón ocupará el contorno $B'' G$ $H'' G' B' A'' B''$ quedando con esto limitado el cono verdadero en $G H'' G'$.

Ya las operaciones en este estado en los planos laterales

y orientándonos con las rectas $D'' E''$, $B'' A''' G$ podremos colocar en este plano lateral las plantillas meridianas, esto es la $b' B' D' d$, de la (Fig. 232), colocándola en las condiciones que hemos indicado en la piedra (Fig. 232'''), así estas plantillas vendrán á tomar la disposición $E'' D'' B'' G$, $e d b' G'$.

Córtese luego una cercha, según la curva meridiana B'' D'', y dividiendo en el mismo número de partes iguales las curvas $B'' 1''' 2''' 3''' 4''' b'$, $D'' 1'' 2'' 3'' 4'' d$ váyase desvastando la piedra, hasta tanto que la cercha antedicha pueda ir colocándose de modo que sus puntos extremos pasen sucesivamente por los puntos pareados $1''$-$1'''$, $2''$-$2'''$, $3''$ $3'''$, etc., haciendo de modo que su plano coincida siempre con el meridiano correspondiente, que pasa por los puntos escogidos, y cuando la convexidad en el bisel de esta cercha, se haya adaptado perfectamente en todas sus posiciones, con la concavidad de la superficie labrada, entonces será cuando se habrá ultimado la superficie parabólica de intrados. Igual operación haremos para el estrado, adoptando como á cercha la curva $G E''$, únicamente que aquí la cercha tendrá el bisel cóncavo, pues que la superficie que hay que labrar es convexa.

Estas superficies parabólicas se hubieran podido también labrar por medio de los distintos paralelos, los cuales cortados en cerchas, y según sus respectivos radios, se hubieran ido apoyando sobre las curvas meridianas $B'' D''$, $b' d$, permaneciendo siempre horizontales, y cambiando de cercha al pasar de una á otra posición; por lo que resulta ser preferible el primer sistema, por ser la cercha constante y tener necesidad no más de una forma.

BOVEDA CONICA RECTA DE EJE VERTICAL

478. La curva meridiana en la figura anterior (Figura 231) era una parábola; si la sustituímos ahora por una recta $C A'$, conservando el mismo eje y la misma planta circular que hay que cubrir, entonces esta recta al girar describirá un cono recto y vertical de vértice C y de base la circunferencia base del cilindro que circuye el recinto, este cono constituirá el intrados de la bóveda objeto de nuestro asunto.

Como á cuestion de procedimiento son tan análogas y algunas idénticas, las operaciones de este caso comparado con el anterior que al objeto de evitar pesadas repeticiones nos concretaremos á apuntar ligeramente lo que hace referencia á la bóveda actual.

Se limitará el extrados por otra superficie cónica cuya línea generatriz sea la *c b'* convergente con la de intrados, de modo á darnos mayor espesor en el arranque donde es necesario más resistencia.

Las juntas contínuas serán aquí también superficies cónicas rectas de eje vertical, cuyas bases respectivas las formarán los distintos pararelos de la superficie, conducidos por los puntos *B'*, *D'*, etc. de división en partes iguales de la meridiana *C A'*. Análogamente las juntas discontínuas serán los distintos planos meridianos que como á tales nos darán la ventaja de cortarnos á los cuatro conos, esto es, los dos de junta y los otros dos de intrados y extrados, según rectas que en conjunto formarán para cada hilada una plantilla de forma de cuadrilatero rectilíneo, cuya verdadera magnitud de cada una de ellas la tendremos en el meridiano principal á la altura de la hilada que corresponda.

479 Aquí como en la bóveda parabólica, también nos podríamos proponer la labra de una piedra partiendo del prisma, cuyas bases fuesen la menor posible circuscritas á la proyección vertical, en cuyo caso emplearíamos el sistema conocido de la proyección de la piedra sobre un plano de simetría, más como esto nos llevaría á reproducir las mismas operaciones que allí hicimos, siendo aun aquí si cabe más fáciles, atención hecha á que las meridianas son rectilíneas, prescindiremos de éste método para emplear el del sistema de la proyección horizontal y suponiendo que la piedra escogida sea aquella que tiene por superficie de intrados el trapecio mixtilíneo *s r m n*. Ante todo definiremos la piedra, las líneas *s n*, *r m* se proyectan verticalmente según generatrices del cono *s' n'*, *r' m'*, más los paralelos que pasan por estos puntos cortando á la meridiana en los puntos φ, ψ las normales que pasan por ellos, cortan al eje vertical en los puntos ω", ω', los cuales ya sabemos que serán vértices de las superficies cónicas de junta en donde por lo tanto acudirán las normales de los puntos *s'*, *r'*, *m'*, *n'*, trazadas éstas en *s' x'*, *r' t'*, *n' q'*, *m' p'*, la unión de los puntos *x'*, *q'* y los *t'*, *p'*

nos darán las generatrices de extrados con que termina la piedra escogida, y por lo tanto su proyección vertical completa deduciéndose fácilmente la horizontal en su contorno aparente *s r p q*. Escójase luego en la (Fig. 321') una piedra en la cual se labre un primer prisma auxiliar que sea su base la proyección horizontal de la piedra *L I J K* y la altura *II'* la separación de los puntos más distantes en altura.

Sobre sus caras laterales colóquense las plantillas α deducidas de la forma de la meridiana principal correspondiente á la hilada de que se trate, no sin que antes haya presidido señalar puntos de referencia tales como *q*, *s*, *p*, *r* sobre sus correspondientes aristas, éstas alturas se tomarán considerando como á plano de comparación el de la base inferior, pues entonces se podrán deducir fácilmente de la figura que representa la proyección vertical, pues allí el plano de comparación está representado por el horizontal que pasa por los puntos *m' n'*.

Ya colocadas estas plantillas laterales podremos colocar directamente en el cilindro cóncavo la cercha horizontal *s r*, en el convexo la *q p*, en el plano horizontal superior la *x t* y en el inferior la *n m*, cerchas todas horizontales cuya verdadera magnitud tenemos en el plano horizontal.

Con las cerchas *x t*, *s r* labraremos el cono de junta superior, con las *q p*, *n m* labraremos el cono de lecho inferior con las *s r*, *m n* se procederá al trabajo del cono de intrados y finalmente para el de extrados nos valdremos de las curvas *x t*, *q p*.

480 Cuando la altura del cono disminuye no teniendo este mucho peralte, entonces para contrarrestar algún tanto el empuje que da una construcción de esta naturaleza suélese emplear el sistema de doble junta formando resaltos ó redientes tal como marca la (Fig. 231) en *D' h y d'*, esto como se concibe aumenta el contacto habiendo de vencer las piedras más resistencia para el resbalamiento impidiéndolo el rediente mencionado. En la (Fig. 232') se muestra una piedra en perspectiva llevada según esta disposición.

En virtud de esta modificación aumentando el número de juntas vemos fácilmente que aparecen tres juntas cónicas en cada lecho y sobrelecho de las piedras, á saber: 1.° el cono que está enjendrado por la recta *D h* de vértice invertido, 2.° la faceta cónica, enjendrada por la recta *h j* del resalto,

ésta superficie de vértice directo y 3.° otra superficie cónica enjendrada por la recta *j d* de vértice también invertido.

En cuanto á la labra se empleará el mismo procedimiento al que acabamos de ver, representando en las bases del prisma auxiliar las proyecciones de las líneas de base de todos estos conos, rebajándose luego el grueso de la piedra según la profundidad que en ella esté situada cada una de esta scurvas de base, particularmente las líneas que parten de los puntos *j*, *h*, *l*, *k*, pues las otras pueden colocarse directamente en la piedra ya en la parte superior ó inferior, ó ya en la parte cóncava y convexa, infiriéndose ya desde luego el resto del labrado insiguiendo las operaciones mentadas en el caso anteriormente referido.

BOVEDA ANULAR

481 Cuando la línea meridiana que gira alrededor del eje se encuentra de tal modo con respecto á este, que no pueda ser cortada por él, entonces la superficie que resulta es la que se llama anular, recibiendo también este nombre la bóveda cuya superficie de intrados sea de este género. Dicho se está pues que ha de ser á propósito para cubrir un recinto, paso ó galería anular, derivándose este nombre en virtud del espacio circular que existe entre el eje y el punto más próximo á él, que gira, espacio que se llama ánulo ó corona. Sin embargo hay alguna que otra vez, aunque pocas, que éste ánulo ó corona viene macizado por un muro cilíndrico recto (Lámina 44. Fig 226') qae es cuando dicho espacio es de muy reducidas dimensiones, y cuando se presenta en esta disposición se la denomina, bóveda anular con alma, recibiendo en este caso dicho muro central las primeras hiladas de la bóveda. Prescindiremos pues de éste último caso por la analogía que tiene con el primero, del cual nos ocuparemos muy someramente por la semejanza que tienen las operaciones con las practicadas en las bóvedas de revolución.

Las bóvedas anulares pueden variar según sea la forma de la línea meridiana, supondremos que en nuestro caso (Lámina 44, Fig. 226) es una semicircunferencia *A B C D H* terminando por la parte exterior con parte de otra circunferencia *p n m q* de centro más bajo que la primera, para aumen-

tar el grueso en los arranques y riñones, limitando finalmente esta sección generadora por los asientos *p t*, *t r*; tracemos desde luego los radios *p B*, *n C*,... *s q*. Así dispuesta la sección meridiana situada en el mismo plano del eje vertical de giro *O E*, hágase girar alrededor de él. Todos los puntos describirán circunferencias horizontales concéntricas. Así los *r-A*, *H-x* describirán las circunferencias que indican la parte rayada y que dos á dos nos demuestran el grueso de los muros de apoyo, los puntos *B*, *C*, *D*, *s* describirán las líneas circulares que corresponden al intrados, sirviendo como á líneas de junta continuas, mientras que las normales *B p*, *C n*, al girar cortarán constantemente al eje en un mismo punto describiendo una serie de superficies cónicas de vértices invertidos y uno para cada una de ellas, estos conos son las superficies que se adoptan como á juntas de lecho, quedando por lo tanto limitadas por los paralelos exteriores descritos por los puntos *p*, *n*, *m* que se proyectan horizontalmente en circunferencias ocultas. Sin embargo, hay discrepancia en parte de estas superficies de lecho, pues si consideramos las juntas que están más próximas al ánulo, éstas si bien también formarán superficies cónicas, tendrán su vértice directo, ó sea en la parte superior, así, si consideramos el cono descrito por la *s q*, éste tendrá su vértice en ω'' al paso que si hacemos mención del cono descrito por la generatriz *B p*, el vértice se encontrará en ω' en la parte inferior.

En cuanto á las juntas discontinuas serán planos meridianos, tales como *z y*, *v n*,... etc., y, finalmente, en cuanto á la labra de la piedra seguiremos el mismo procedimiento visto en casos análogos, como lo demuestra la figura 226', en donde en el único detalle que se distingue es en la labra de la superficie anular de intrados *a b c d*, la cual puede labrarse por medio de cerchas horizontales *1-1*, *2-2'* que se apoyen sobre los meridianos *a b*, *c d*, cerchas de dimensión variable y deducidas del plano horizontal.

COLOCACIÓN Y RETOQUE EN LAS BÓVEDAS DE REVOLUCIÓN

482. Después de construido el muro de apoyo hasta el nivel del arranque, y este último bien comprobado, que coincida perfectamente en un plano horizontal, se dispondrán

construidos con tablas de madera una serie de planos meridianos equidistantes, y cuyo contorno exterior sea exactamente paralelo al intrados de la bóveda. Todas estas piezas meridianas van invariablemente unidas á caja y espiga, ó á caja y horquilla, con otra pieza vertical colocada al centro de la bóveda y en la situación del eje de la misma, además todas ellas pueden descansar en otras horizontales que vayan en el sentido de los radios de la bóveda y apoyadas en el mismo muro, ó si se quiere, en pies derechos verticales colocados en íntimo contacto con la pared interna del muro. Así se tendrán dispuestas los costillas principales del cimbraje general, las cuales sostendrán una serie de maderos horizontales, que irán de cimbra á cimbra, y que á su vez servirán de apoyo gradual á las dovelas; mas como quiera que la forma de los cerchones meridianos intermedios, son curvas, y estas piezas que los enlazan son rectas, de aquí es que no convenga espacear demasiado los mencionados cerchones, pues apoyándose las dovelas en las piezas horizontales antedichas, podría dar lugar á que existiera mucha diferencia entre la verdadera forma curva del intrados, y la que resultar podría de las formas poligonales, que sin cesar irían acentuándose, á medida que el ínter-espacio aumentase. Si tanto lo exige la importancia de la bóveda, en lugar del empleo de estos travesaños intermedios que enlazan los cerchones, puede cubrirse también toda esta armadura de madera, por medio de una tablazón continua, afectando la misma superficie curva del intrados, rectificándola las veces que sea necesaria para que en ella aparezca una superficie bien continua.

Téngase en cuenta que en la construcción de todo este detalle, no precisa una gran resistencia para dichas piezas, pues recordaremos perfectamente que una bóveda de revolución puede montarse por hiladas circulares, verdaderos anillos, compuestos de una serie de piezas en forma de cuña, que cada una de ellas tienden á un centro común, sosteniéndose por lo tanto cada hilada por sí y ante sí, una vez que esté completamente cerrada, holgando por lo tanto la cimbra de apoyo cuando se encuentre en esta disposición, exceptuándose no más cuando se trata de la bóveda anular, la que por su manera de ser especial, no le sucede lo mismo á la mitad de ella, cuyas hiladas están más próximas al eje de la revolución.

Dicho se está, pues, que dispuesta toda la cimbra general, se colocará el primer anillo, de manera que haga la mejor coincidencia posible su intrados con la parte exterior de dicha cimbra, y cerrado que sea dicho anillo con la última pieza, asegurándose bien que todas obren en un íntimo contacto (pues de no existir éste, convendrá sacar la piedra que adolezca del defecto observado, para arreglarla y ponerla en condiciones de que aquella propiedad se verifique), supliendo finalmente las imperfecciones ineludibles, echando mano del material de enlace.

Adviértase que no hay que perdonar medio para obtener una prueba cierta de la verdadera exactitud y situación de las meridianas de la bóveda, pues de ello consiste la estabilidad y el buen aspecto de la misma, al observar en su intrados una verdadera superficie continua, esto se puede conseguir fácilmente haciendo uso de varias reglas horizontales colocadas en el plano de arranque y en dirección de los radios de la bóveda. Estas reglas estarán marcadas con un número determinado de divisiones, que no serán otra cosa más que las proyecciones horizontales de los distintos puntos que forman una meridiana cualquiera; representan, en una palabra, las distintas voladas de los puntos de la bóveda, considerados en cada meridiano particular.

Así es, que valiéndose ahora de una regla vertical dividida en partes que cada una de ellas indique la altura de los puntos que corresponden á un meridiano cualquiera, claro está que por medio de esta regla vertical y por las divisiones horizontales de que antes hemos hablado, tendremos las salidas y alturas de todos los puntos de la bóveda, y por lo tanto podrán éstos fijarse con suma facilidad. Para con respecto á la inclinación de las juntas, nos podemos valer también aquí del *regulador de juntas*, de que hemos hecho mérito en el número 283.

El retoque y rectificación de esta clase de bóvedas ha de partir ya del arranque, una vez se tenga rectificada por completo la superficie de paramento interior del muro de apoyo; y al objeto de que el enlace de los intrados de la bóveda y del muro se verifique de un modo muy continuo, se suele emplear un vástago de hierro, colocado en el arranque, en el sentido del radio y dispuesto á poder girar alrededor del eje al cual está enlazado, pero asequible á obedecer el movimiento de giro. permitiéndolo un anillo de hierro, en el

cual encaja perfectamente el eje. La otra parte extrema de este vástago está terminada por otra pieza de hierro perpendicular á la primera, mixtilínea, esto es, compuesta de dos ramas: una recta, que coincide en el giro, con las distintas posiciones de las generatrices del cilindro de apoyo; otra, curva, cortada según la verdadera forma de la línea meridiana de la bóveda. Se concibe ahora que al girar este aparato, este hierro extremo nos ha de indicar en sus distintas posiciones de giro, la separación de las meridianas del intrados de giro con respecto á él, pues de no ser constante dicha separación, las pequeñas diferencias que existan nos indicarán el grado de retoque que hay que practicar, para obtener la superficie del arranque, cuando menos en la primera hilada.

Podríanse ahora también colocar cuatro ó cinco curvas meridianas, cortadas según cerchones de madera y bien lisas y finas en sus biseles ó aristas, siendo útil si hay posibilidad de hacerlo, valerse de uno solo de estos cerchones, pero sujeto de modo en el eje, que pueda imprimírsele un movimiento de revolución.

Ahora se comprende que en una posición cualquiera que se coloque se podrá venir á dibujar sobre la bóveda una pequeña ranura curvilínea en sentido de esta curvatura haciendo de modo que el fondo de esta pequeña acanaladura equidiste en su longitud de la línea meridiana allí establecida, consiguiéndolo después de algunos ensayos y pruebas de sondage.

Establecidas estas ranuras meridianas tómense varias cerchas curvilíneas cortadas según algunos paralelos de la superficie, colocándolas en la bóveda á la debida altura que les corresponde, y permaneciendo siempre horizontales en cuyo caso las ranuras antes establecidas de los meridianos, nos indicarán el fondo á que han de alcanzar otras ranuras horizontales que corran á lo largo de las cerchas de los paralelos.

Así siguiendo se habrá llegado á dividir el intrados de la bóveda en una red de cuadriláteros curvilíneos sirviéndonos de guía para el descostre de todo el material excedente retocándolo hasta venir á precisar la superficie continua de la bóveda.

Conviene recordar para la colocación de las cerchas horizontales de los paralelos, que nos podemos valer para sus respectivas alturas de una regla vertical dividida en las partes

que median entre aquellas. Y para con respecto á los salientes de estas cerchas se tomará prolija nota de los vuelos de los distintos puntos meridianos, los cuales se colocarán en reglas horizontales situadas en los sentidos de los radios en el plano del ecuador representando allí las proyecciones horizontales sobre este plano de los citados puntos.

CAPITULO DÉCIMO SÉPTIMO

BÓVEDAS ELÍPTICAS

483. Llámanse así cuando las superficies de intrados son Elípticas, esto es formando parte de un Elipsoide, el cual se considera en general en su mitad, sirviendo por lo tanto para cubrir recintos de forma elíptica, siendo elipses las plantas de los muros que la sostienen. Las bóvedas de este género pueden ser peraltadas ó rebajadas; en el primer caso el semieje mayor está situado verticalmente en el segundo lo está el semieje menor.

Pueden clasificarse también según sean ó no de revolución, pues dejando de tener esta propiedad generadora los Elipsoides que los constituyen tienen los tres ejes desiguales.

No trataremos aquí del grupo de las peraltadas, pues cuando es de revolución, el problema se resuelve análogamente que en la bóveda parabólica, y en el concepto de no serlo no tiene ninguna aplicación en la práctica.

BOVEDA ELÍPTICA DE REVOLUCION Y REBAJADA

484. Primera solución.—*Sistema de juntas de lecho planas é inclinadas al horizonte.* Lámina 49, Fig. 233. La planta que hay que cubrir está encerrada dentro la elipse *A C B*

la cual consideramos en su mitad, y de semieje *O A* el menor y *O C* el mayor. La separación de esta elipse con la otra exterior *E F G* nos indicará el grueso del muro que sustenta á la bóveda. Esta segunda Elipse es semejante á la primera, construyéndose por medio de la proporcionalidad de los ejes, trazando al efecto desde el punto *E* la paralela *E F* á la cuerda *A C* de la primera Elipse, y el punto *F* que resulte de intersección con la *O C* prolongada nos dará la *O F* como á eje mayor de la Elipse exterior, evidenciándonos tamañas operaciones de proporcionalidad de los ejes, y como á consecuencia la semejanza de dichas curvas.

Concibamos ahora un corte á la bóveda por un plano vertical levantado por *E G*, esto es según el plano de su ecuador, es evidente que así las cosas el ecuador interior y el exterior se proyectarán verticalmente según las semicircunferencias concéntricas *A′ I B′*, *E′ H G′*; dividamos la primera en un número impar de partes iguales, haciendo luego pasar por los puntos de división *J′*, *K′*, *L′*... etc., planos que contengan el eje mayor *C O*, estos constituirán las juntas del lecho cortando al intrados y extrados según Elipses, todas iguales en el espacio pues es evidente que cada una de ellas será una posición de la línea meridiana *A M N P Q C* cuando gire alrededor del eje *C O* para engendrar la superficie; lo mismo sucederá con la meridiana del extrados. Estas elipses se proyectan verticalmente según los distintos radios *O′ J′*, *O′ K′*, *O′ L′* etc., y horizontalmente según otras elipses todas desiguales (exceptuando las simétricas) pero de ejes conocidos; así si queremos proyectar la referente á *O K′* el punto *K′* se proyectará en *K* siendo *O K* el semieje menor, con el auxilio de este y del eje mayor *O C* que es común á todas, podrá trazarse ahora la curva elíptica de intrados *C d x b K* que será una de las líneas de junta continuas. Así determinaremos las demás lo mismo que las referentes á la parte de los extrados con solo tomar en consideración el otro eje mayor *O F* y el ecuador correspondiente *E′ H G′*.

485. Pasemos ahora á la determinación de las juntas discontinuas, á este efecto dividamos en un número impar de partes iguales *A M*, *M N*, *N P*, *P Q* la elipse de la planta, trazando enseguida por cada uno de estos puntos de división las normales á la mencionada curva; es claro ahora que al girar ésta para el engendro del intrados se moverá llevándo-

se consigo los normales antedichas y éstas siéndolo á una superficie de revolución y á lo largo de un paralelo formarán superficies cónicas cuyos vértices por ejemplo ω', ω serán los encuentros de las normales iniciales con el eje común $O\ C$, estos conos serán las juntas discontinuas y como á tales los paralelos descritos por los puntos M, N, P, etc., se irán alternando conforme muestran los $a\ b$, $m\ n$, $x\ z$, $K\ L$, $A\ J$ y así sucesivamente. Se comprende que estas juntas cónicas han de cortar al elipsoide de extrados también según paralelos proyectados en verdadera magnitud en el plano vertical y según rectas en el horizontal tales como muestran las $g\ h$, $f\ e$.

486. Puede observarse ahora que como que todas las líneas de junta continua hacen la concurrencia hacia el punto (O', C) disminuyendo de una manera rápida el ancho de las hiladas hasta el extremo de anularse en este punto, se infiere fácilmente que concluyendo aquí por aristas vivas sería fácil su aplastamiento al reaccionar por completo la bóveda; á evitar pues este inconveniente tiende la disposición de una pieza especial en este sitio, esta pieza es el trompillón y se termina por un paralelo $Q\ Q_1$, $Q'\ S\ Q''$ que le sirve de base y al mismo tiempo de directriz á una superficie cónica recta, cuyo vértice queda determinado por el encuentro de las normales $Q\ R$, $Q_1\ R'$ á los puntos Q, Q_1 con el eje $O\ C$, este cono prolongado quedaría limitado al cortar la superficie elíptica de extrados, dándonos el trompillón la forma que indica la Figura 223^{V}. Obsérvese ahora que si el grueso de la bóveda fuese de alguna consideración, la junta cónica del trompillón resultaría demasido extensa y siendo á la vez ella inclinada al horizonte y en donde van á concurrir todas las hiladas, sería temerario dejar en la práctica semejante disposición y á este fin se puede limitar la pieza por un plano horizontal superior y dos verticales laterales; entonces el cono de junta vendrá cortado por cada uno de dichos planos límites por una hipérbola, cuales serían las $a\ b$, $b\ c$, $a\ d$ mientras que por la parte opuesta cortarán al elipsoide por tres elipses $m\ n$, $n\ p$, $m\ q$, según demuestra la Fig. 233'''. Otras veces se le da á dicha piedra la disposición de la Fig. 223^{IV}, esto es de modo que el plano horizontal superior termine en un plano vertical $a\ b\ c\ d$ que recibe la intersección del cono de junta según una sección circular quedando los planos laterales limitados con la arista vertical $c\ d$, $a\ b$, independientes estos por lo tanto del citado cono compuesto de una faceta de igual anchura.

Todos estos medios muy artificiosos exigen ángulos entrantes y salientes que dificultan la labra, así como la colocación la cual para que cumpla con los buenos requisitos de asiento, obliga á llevar el labrado con un cuidado y pulcritud extremada para que tenga lugar la coincidencia de las superficies de contacto con la más posible perfección. Lo más general es terminar al citado trompillón (Fig. 233''), después de la superficie cónica con un cilindro recto $r\ z''\ r'\ p\ z'\ p'$ perpendicular al plano de la base $r\ z'\ r'$, el cual termina al cortar al esferoide posterior según la curva $Z'\ p'\ p$.

Labra del trompillón.—El contorno opuesto de esta pieza sobre el plano vertical, siendo el semicírculo $X''\ Z\ X'''$ ésta servirá de base de un semicilindro recto auxiliar que labraremos dándole una altura igual á la mayor profundidad de la pieza, cual es la distancia $Y\ F$. Este cilindro está representado en la (Fig. 233'') por $R\ Z\ R'\ R''\ Z'''$; sobre el plano de base inferior colocaremos la plantilla $q\ c\ q_1\ r'\ p'\ \gamma\ p\ r\ q$ que está en verdadera magnitud en el plano horizontal, arranque de la bóveda en $Q\ C\ Q_1\ R'\ X'\ F\ X\ R\ Q$.

Colóquese en el plano de la base anterior concéntrica con ella la semicircunferencia $q\ s\ q_1$ línea de junta del trompillón, de la cual tenemos á nuestra disposición el radio, al mismo tiempo arróllese sobre la superficie cilíndrica una cercha flexible que enlace los puntos r, r' y luego otra que pase por los puntos p, Z', p', marcando á lo largo del bisel de éstas dos cerchas un trazo continuo con el lápiz; tendremos así dos circunferencias, la 1.ª será la segunda base del cono y la primera del cilindro, y la 2.ª representará la intersección del elipsoide exterior con dicho cilindro.

Ahora con las directrices $q\ s\ q_1$, $r\ z''\ r'$ puede ya trazarse el cono de junta dividiéndolas en un mismo número de partes iguales, uniéndolos dos á dos, desvastando la piedra hasta obtener las generatrices que constituyen esta superficie cónica.

Córtese luego un baivel en la proyección horizontal según el ángulo mixtilíneo $R\ Q\ C$; este baivel servirá para el labrado de la pequeña zona elíptica del intrados, y con este motivo se irá desvastando la parte interior del pequeño pararelo $q\ s\ q_1$ practicando el hueco en forma de casquete hasta que según el criterio del obrero el desvaste se haya llevado lo bastante adelante para ir ensayando el baivel citado, de modo que su rama rectilínea coincida con cada una de las ge-

neratrices del cono, mientras que su punto extremo en la parte curvilínea coincida constantemente con el vértice C señalado en la piedra. Imprimiendo pues á este baivel cuando llegue el caso de la comprobación general un movimiento de revolución alrededor del eje también señalado en la parte inferior concluiremos definitivamente la formación de la superficie elíptica, puesto que la rama $Q\,C$ del baivel habrá pasado sucesivamente por las distintas secciones meridianas C-1, C-2, C-3... etc.

Con una operación análoga pasaremos á labrar la parte elíptica de extrados representada en la figura con las líneas $Z'\,p'\,\gamma\,p$, γ representa el vértice del elipsoide de extrados. Si cortamos pues ahora otra baivel mixtilíneo según el ángulo $X\,F\,C$ (de la proyección horizontal), éste colocado en la piedra, de manera que el vértice entrante F coincida constantemente con el punto γ y la rama rectilínea con el eje que hemos dicho que ya estaba dibujado en el plano inferior de la pieza, entonces desvastando toda la parte superior hasta tanto que la cercha pueda ir colocándose sucesivamente pasando por los puntos γ-1,″ γ-2,″ γ-3″ su parte cóncava irá describiendo la superficie convexa del elipsoide, quedando así la piedra terminada.

487 Determinemos ahora una piedra cualquiera, por ejemplo: la que su intrados se proyecta en $a\,b\,c\,d$, $a'\,b'\,c'\,d'$, es evidente que la junta cónica que pasa por $c\,d$, obedeciendo al paralelo que parte del punto P tendrá su vértice en el punto ω, uniendo pues ω con c y d se obtendrán las normales $c\,f$, $d\,e$ que cortarán al elipsoide de extrados en los puntos f, g, e h la intersección del cono con dicho extrados vendrá expresado por un paralelo proyectado según la recta $f\,e$ en proyección horizontal y la circunferencia $f'\,e'$ en proyección vertical, estos puntos f, e son fáciles de encontrar pues todo se reduce á referir los puntos c y d en el meridiano principal en P, trazar por éste la normal $P\,\varphi$ á la elipse de arranque, y volviendo luego estos elementos á su primitiva posición, el punto φ' describirá el paralelo consabido cortando á las normales en los puntos $(f, f')\,(e, e')$. Del mismo modo encontraríamos la otra junta cónica $a\,b\,h\,g$, $a'\,b'\,h'\,g'$.

488 En cuanto á los planos de las superficies de lecho, nos cortarán evidentemente al elipsoide de extrados según

elipses iguales en el espacio, y aunque en el plano horizontal tendrán todas un eje común, esto es, el mayor, en cuanto al menor será distinto en cada una de ellas. Así el plano que produce la línea de junta $a\,c$ nos cortará al extrados según la elipse $g\,f$ cuya curva puede encontrarse proyectando el punto α interseccion del plano con el ecuador en α' y con los ejes $\alpha'\,O$, $F\,O$ trazar una elipse aprovechando de ella el trecho que va de g' á f. Con idénticas operaciones quedaría limitada la otra junta en la proyección horizontal según $h\,b\,d\,e$. Estas dos juntas planas ambas son iguales, corresponden á la generación del contorno meridiano y la forma que nos dará la plantilla en verdadera magnitud estará expresada en el rebatimiento de las mismas señalada en $M\,P\,\varphi\,\beta$ y con esto tenemos datos suficientes para proceder al labrado de la piedra.

489. **Labra.**—Partiremos del prisma cuyas bases sean el total contorno aparente de la piedra $c'\,d'\,h'\,g'$ en el plano de proyección vertical y la altura sea igual á la separación de las líneas límites $a\,b$, $f\,e$ en el plano horizontal. Este prisma está representado (Fig. 233′) cuyas bases vienen acompañadas con las mismas letras que las indicadas en el plano vertical. Conviene ahora señalar dentro de estas bases las curvas $a\,b$, $f\,e$ dispuestas del mismo modo como están inscritas en la proyección vertical, puesto que así la línea $a\,b$ coincide desde luego con una línea discontinua de intrados, mientras que por la parte opuesta la $e'\,f'$ coincidirá con una línea discontinua de extrados. En este estado tómese la plantilla meridiana de lecho colocándola en el plano superior, y luego en el inferior, orillándola exactamente en el primer plano por medio de los puntos b', e' que son fijos; así como en los a', f' en la parte inferior. Colocadas que sean estas plantillas puede trazarse enseguida en el cilindro $d\,c\,d'\,c'$ la curva $c''\,d''$ valiéndonos de una pequeña regla flexible que se adapte á la concavidad de la superficie apoyándose sobre $c''\,d''$; con iguales requisitos se trazará en el cilindro convexo exterior la curva $g''\,h''$ teniendo ya señaladas todas las líneas que forman el verdadero contorno de la dovela; falta solo proceder al desvaste. Así, los conos de junta discontinua tiene cada uno de ellos las dos directrices bien determinadas $c''\,d''\,f'\,e'$ para uno de ellos, $a'\,b'\,g''\,h''$ para el otro, divídanse pues estas curvas dos á dos en un número de partes iguales, quítese la exce-

dencia de piedra hasta unir los puntos pareados señalados y las líneas así obtenidas serán las generatrices de las superficies cónicas.

La superficie elíptica de intrados se labrará con auxilio de una cercha meridiana igual al trecho $M N P$ en la proyección horizontal, dividiendo las curvas $a' b'$, $d'' c''$ en el mismo número de partes iguales, ahuecando enseguida la piedra en la forma aproximada que nos dan los límites $a' c'' d'' b'$ hasta tanto de poder colocar la cercha consabida en las posiciones que nos marcan los puntos pareados *1-1''*, *2-2''*, *3-3'*,...etcétera, cuyo lugar geométrico de todas ellas nos dará la superficie de intrados. Análogas operaciones haríamos con el extrados, echando mano de la cercha meridiana de extrados.

490. Segunda solución.—*Lechos cónicos de eje vertical.* En el sistema que se acaba de describir, aparecen defectos y contrariedades de gran monta á medida que va aumentando el eje mayor acentuándose su desigualdad con el menor en la elipse horizontal de arranque. En primer lugar, es bien fácil de advertir que los lechos, aunque los más sencillos posibles, pues son planos, vienen inclinados al horizonte, y esto, de por sí es bastante para que el aparejo no reuna las circunstancias de la mayor parte de construcciones de cantería, en que por lo regular los asientos son horizontales, dando así garantías de solidez al trabajar por simples presiones verticales, contrarrestadas *directamente* por masas también verticales; tenemos pues aquí en nuestro caso, una gran masa inclinada al horizonte, con gran tendencia al resbalamiento y á salirse de su aloje cada una de las hiladas, siendo de necesidad imperiosa que las piezas ajusten exactamente, pues de no tener lugar los contactos con gran precisión, sucedería que el más leve movimiento de asiento, sería motivo para que las piedras, según esta disposición tendieran á salirse del sitio que cada una de ellas tiene designado, comunicando esta tendencia á todas las demás, y de allí el quebrantamiento de todas las líneas de junta, cuyo hecho hace años, tuvimos ocasión de observar, al proceder á la restauración de una bóveda de esta naturaleza, para cuyo fin fuímos llamados.

Por otra parte, al pasar los planos de lecho por el eje mayor del elipsoide, ya hemos dicho que hacían la concurrencia en ángulos excesivamente agudos, obligando á la

introducción del trompillón, dando además por resultado, el que las dovelas de mayor tamaño están dispuestas en la parte superior, mientras que las menores vienen situadas en la parte inferior, sitio en el cual hay que desarrollar más resistencia, sucediendo pues lo contrario de lo que prácticamente se ha de verificar. Produce un empuje considerable por no desarrollarse los esfuerzos con la uniformidad, que es tan ventajosa cuando tiene lugar alrededor de todos los puntos de la planta, y finalmente, la disposición de estas juntas inclinadas, hace también engorrosa y difícil la colocación de las dovelas, al llevar á cabo prácticamente la formación sucesiva de la bóveda, pues la mayor parte de las piezas, en especial las que han de estar en las hiladas superiores, no pueden entrar en el espacio que les corresponda, con sólo el movimiento vertical, necesitando alojarlas en el sentido inclinado de las juntas, por todas estas razones y sobre todo en el concepto de exceder de 4 ó 5 metros la longitud del eje mayor citado, es de todo punto conveniente, sino forzoso, valerse de un nuevo aparejo que evite tamaños inconvenientes, y éste es el que se va á exponer, y que hemos designado con el nombre que encabeza este párrafo.

491. El elipsoide es también de revolución, (Lám, 49, Fig. 234) la elipse de arranque es $A' D B'$, el ecuador, la semicircunferencia $A C B$, el elipsoide de extrados tiene como siempre su centro Θ, más bajo que el O del que corresponde al intrados, y por lo tanto el ecuador de aquél vendrá representado por $m Z n$, del cual no más se aprovecha la parte $K Z K'$. El muro cilíndrico que sostiene la bóveda es también de base elíptica, expresada en su parte exterior por $M N M'''$, esta elipse es semejante á la de arranque, y por lo tanto se construirá trazando por el punto M una paralela $M N$ á la cuerda $A' D$, dándonos así al encontrar el eje mayor el punto N cuya distancia al O será el segundo eje de la elipse de que se trata, que así será evidente satisfará á la condición de proporcionalidad de ejes, finalmente un plano horizontal de asiento $M'' K'$ recibirá la intersección del elipsoide de extrados, el cual insistirá sobre este plano cortándole por una elipse semejante á las anteriores, que partirá del punto K y cuyo trazado será igual al anteriormente descrito. Dividamos ahora al ecuador en un número impar de partes iguales $A E$, $E F$, $F G$, etc., por cada uno de estos puntos,

trácense planos horizontales y nos cortarán según elipses al elipsoide de intrados, cuyo trazado en el plano horizontal se verificará como ya hemos indicado, pues es evidente que todas son semejantes.

Estas líneas elípticas horizontales se toman ahora como líneas de junta continuas, considerándolas como á directrices de una superficie cónica cuyo vértice esté situado en un cierto punto del eje. Este punto no es indiferente. En efecto, si tomamos en consideración la elipse que se proyecta según *(E Q', E' Q)* y escogemos en ella el punto *E* situado en el meridiano, es evidente que la normal á dicha curva meridiana sería aquí el radio del ecuador y por lo tanto vendría á cortar al eje en el punto *O*. Mas tomando á este punto como á vértice del cono de junta, tendríamos que á medida que la generatriz resbalando sobre la línea *E Q'* se aproximara al vértice *(Q-Q')* dicha generatriz iría apartándose cada vez más de la normalidad para con respecto á la sección vertical por donde pasara, llegando al máximum de oblicuidad para con respecto á la sección *C' Q*; de adoptar pues la mencionada elipse como línea de junta conviene tomar un término medio entre las generatrices extremas que pasan la una por el punto *E* y la otra por el *Q* escogiendo el punto intermedio *(P-P')* y por él la sección vertical *P O* la cual nos producirá una sección elíptica en el elipsoide de intrados, á la cual se trazará la normal que irá á cortar al eje en un cierto punto que podrá servir de vértice al cono de junta, así se compensarán las oblicuidades en los citados puntos *E*, *Q*. Mas para efectuar esta operación rebatamos la sección *O P* sobre la principal *C A'*, en este giro el punto (*P-P'*) no variará de altura y se colocará en (P''-P''') y si bien es verdad no se dibuja en este giro la curva de sección elíptica que pasa por el citado punto, es también cierto que podemos prescindir de ella toda vez que la tangente á la misma en el punto (P''-P''') la obtenemos inmediatamente uniendo P''' con *q* producido por la intersección con el eje y la tangente en el punto *E* que pertenece al ecuador, debiéndose semejante operación á la propiedad que resulta de cortar al elipsoide por varios planos que pasen por el eje vertical *O C* lo cual hace que la superficie venga cortada por varias elipses de eje común *O C*, y es bien sabido que todos los puntos de estas elipses que tengan ordenados comunes con respecto á dicho eje las subtangentes *Q' q* serán las mismas, luego claro es que todas las tangentes constituirán un cono de vértice *q*.

Así las cosas, si desde el punto P''' trazamos la perpendicular P''' Θ á la recta P''' *q* esta perpendicular nos representará la normal á la sección elíptica que pasa por el punto P''' y encontrándonos al eje vertical *O C* en el punto Θ, éste podrá servir de vértice al cono de junta. Haciendo resbalar pues una recta por la línea de lecho *E Q'* pasando siempre por el punto Θ obtendremos así la superficie de junta. Esta con evidencia nos cortará al elipsoide de extrados, según una elipse horizontal proyectada verticalmente según la recta horizontal que parta del vértice cual es el punto *H*. En efecto, si concebimos por el punto *H* un plano secante horizontal, éste nos cortará al extrados elíptico según una elipse semejante á la de arranque, mas también cortará al cono de junta según una elipse semejante á la propia del arranque, luego tendremos con esto en el mismo plano dos elipses que tienen un mismo vértice *H* y semejantes á una tercera por lo que habrán de confundirse. Ahora emplearíamos el mismo procedimiento para las demás juntas de lecho, encontrando análogos resultados.

492. Para con respecto á las juntas discontinuas se echará mano de planos verticales tales como *c' b'*, *d' a'*, que sean respectivamente normales á las líneas elípticas medias entre otras dos líneas de hilada consecutivas, lo cual si nos fijamos en las dos indicadas, todo quedará reducido á imaginar un plano secante horizontal intermedio entre las alturas de los puntos *E* y *F*, encontrar la sección que produce con el elipsoide de intrados, proyectarla luego en el plano horizontal y tomarla como á guía para el trazo de las normales *b' c'*, *a' d'*, de no haber cumplido este requisito salta á la vista que toda dirección normal á una de las elipses de hilada hubiera cortado excesivamente en ángulo agudo á la línea de la hilada siguiente.

493. **Determinación de una piedra.**—Se escoge la que tiene su intrados proyectado horizontalmente en *a', d' c' b'* y verticalmente en *a d c b*. Para esto no hay más que analizar un plano de junta de que modo va cortando á las superficies que encuentre á su paso. En primer lugar si se escoge el plano *c' b'* éste cortará al intrados según la elipse que se proyecta según la recta *c' b'* horizontalmente, estos dos puntos se proyectan refiriéndolos enseguida en el plano vertical á cada

una de las elipses que les corresponda y para un punto intermedio entre ellos se acudirá en auxilio de otra sección elíptica intermedia. Enseguida el plano de junta cortará al cono de lecho superior según una pequeña rama de hipérbola *c e* cuyo punto extremo *e* se encuentra directamente teniendo en cuenta en el plano horizontal la intersección *e'* del plano *b' c'* con la elipse que parte del punto *I* refiriéndolo luego á arriba. Para un punto intermedio entre *e* y *c* trazaríamos un plano horizontal también intermedio, éste nos cortaría al cono según una elipse semejante á la de arranque que proyectada horizontalmente cortaría también al plano vertical *b' c'* en otro punto que proyectaríamos como antes en el plano vertical. Encuentra luego el plano de junta á la superficie de extrados y la corta según un arco elíptico *e h*, concluyendo finalmente cortando al lecho cónico inferior según otro arco de hipérbola *h b*, curvas que se encontrarán fácilmente repitiendo las operaciones mentadas para las dos primeras; y con esto está completamente definida la proyección vertical de la junta discontinua en el cuadrilátero curvilíneo *b c e h* igualmente tenemos la otra proyectada en *a d f g*. Precisa ahora encontrar la verdadera magnitud de cada una de ellas, por ejemplo la contenida en el plano vertical *h' c'* y para hacer más expeditas las operaciones traslademos este plano paralelamente á sí mismo hasta colocarse á la izquierda (Fig. 234') en sitio más despejado indicándolo con las mismas letras *h' b' e' c'*, haciéndolo girar luego en torno de la vertical que se levanta en el punto *h'* hasta que se coloque paralelo al plano de proyección vertical, en este giro las alturas de los distintos puntos de la plantilla no variarán y los cruces de las horizontales que pasan por ellos con las proyectantes verticales de los puntos *h" b" e" c"* nos darán los puntos extremos *h''' b''' c''' e'''*. Se concibe que es necesario encontrar entre ellos puntos intermedios tales como j''', j^{IV}, e^{IV},... etc., los cuales se evidencian con las operaciones adjuntas, holgando ya más detalles sobre el particular.

494. Labra.—Terminándose las piedras en esta bóveda por medio de superficies curvas exige que presidan en las operaciones la mayor exactitud infiriéndose ser el sistema de escuadría el que viene más indicado. Escójase pues una piedra de modo que pueda labrarse un prisma cuyas bases sean la máxima proyección horizontal de la piedra *c' h' g' d'* y por

altura la distancia entre los planos horizontales que pasan por los puntos *I*, *E*; este prisma lo tenemo dispuesto en la Fig. 234" indicado con las mismas letras siendo primas las de la base inferior y segundas las de la base superior, sobre las caras laterales, colóquense las plantillas de junta discontinua encontradas hace poco en verdadera magnitud, y éstas vendrán dibujadas en *a d f g* la una, *b c e h* la otra, guiándonos en su colocación en las alturas de los puntos *d*, *c* y los *g*, *h* sobre la base inferior, alturas que tenemos en el plano vertical. Colóquense luego en las dos bases las cerchas que vayan de *f*, á *e* y la otra de *a*, á *b* deducidas del plano horizontal. En el cilindro cóncavo anterior alójese de *d*, á *c* una regla flexible que permaneciendo horizontal se adapte perfectamente á dicha concavidad, dibujando enseguida con el lápiz la curva *c d*. Hágase lo mismo para con respecto á la curva que va de *g*, á *h* en la convexidad del cilindro exterior.

En este supuesto indíquense sobre las líneas *d c*, *f e*, una serie de puntos de marca, 1, 2, 3,... etc., que nos facilitará la proyección horizontal en donde dibujaremos varias generatrices, devastando luego la piedra en la parte superior hasta tanto que podamos unir cómodamente los puntos pareados 1 con 1, 2 con 2, 3 con 3,—etc., y su conjunto nos dará el lecho superior. Hágase lo mismo con el inferior. Finalmente resta el labrado del intrados; y extrados; para el primero, por ejemplo, y teniendo en cuenta su generación iremos devastando toda la piedra que comprenden las líneas *a d*, *d c*, *c b*, *a b*, aproximándonos á la forma cóncava elíptica y cuando se crea llegado el momento oportuno se ensayarán distintas cerchas tales como 1"-1" que se apoyen sobre las curvas *a*, *d*, *b*, *c*, cuidando de que estén bien horizontales y deducidas de las distintas secciones elípticas que median entre las alturas de los puntos *a*, *d* deducidos estos datos de las proyecciones. Estas cerchas pues serán de distintas dimensiones y curvatura, pasando gradualmente de la inferior *a b* á la hilada superior *d c*. En cuanto á los puntos de marca 1"-1", 2"-2" 3"-3" nos lo proporcionará también la proyección vertical, el lugar geométrico de todas estas líneas nos dará la superficie de intrados.

Se concibe pues ahora que para el labrado del extrado, podemos recurrir á análogas operaciones, teniendo en cuenta empero que aquí la superficie es convexa.

495. 3.° **Lechos cónicos en resalto.**—A pesar de haber escogido en la solución anterior un punto intermedio entre los dos vértices de la línea de hilada con el fin de atenuar algún tanto la falta de normalidad de unos puntos, á expensas de otros; aún este recurso quedaría algo deficiente de extremarse la desigualdad de los ejes horizontales, siendo esto motivo para que en lugar de escoger un sólo punto para que en él se cumpla la normalidad en la sección vertical se escojan otros intermedios, repitiendo en ellos igual operación hasta tanto que se venga á inferir, no ser muy notoria la discrepancia de la dirección perpendicular á la tangente á las distintas secciones verticales que se consideren; esto pues da pie á escoger para una misma junta distintos conos cuyas generatrices van inclinándose de manera para cada uno de ellos que lo exijan así, los sitios de la línea de hilada produciéndose una serie de soluciones de continuidad ó resaltos al pasar del uno al otro cono.

496. Apliquemos pues este procedimiento para la junta de lecho que responde á la línea de hilada *E' Q' S'*. Dividámosla en primer lugar en varias partes tales como son *U'' U'*, *U' V'*, *V'' Q' V''*; al mismo tiempo escojamos los puntos medios *S*, *R*, *Q*. Ahora la línea *U'' U'* servirá de base á un cono cuyo vértice será el punto de intersección del eje vertical *O C*, con la normal á la sección intermedia vertical que pasa por el punto *S*; este vértice pues, se confunde con el mismo punto *O*, de modo que uniendo *O* con *U*,'' *U'* tendremos las normales (*U x*, *U' x'*), (*U'' x''*, *U x*) cortando este cono al elipsoide exterior según la elipse horizontal *x' K'' x''*.

Tomando ahora en consideración el trecho que va de *U* á *V* será la base de otro cono, cuyo vértice será el punto θ que es por donde pasa la normal á la sección vertical del punto medio *R* simétricamente colocado al que antes habíamos escogido en *P*, quedando así limitado el trecho cónico de que se trata por las normales extremas, (*U' y'*, *U y*), (*V' X'*, *V X*) y cómo quiera que estas generatrices se han elevado para con respecto á las del primer cono por escogerse el vértice del segundo más bajo que no lo tenía aquél, se infiere que el paso del primero al segundo, se hace por medio de resaltos triangulares mixtilíneos *U y x* formado por las dos generatrices de ambos que pasan por el punto *U*, cuales son: *U y* *U x* y además, la pequeña curva elíptica *y x* producida por la intersección de este plano vertical de resalto con la superficie de ex-

trados. Análogamente el trecho que luego sigue que va de *V'* á *V''* pasando por el vértice *Q* será la base de otro cono, cuyo vértice ω' será aún más bajo que los anteriores, porque corresponderá á la normal ω' *Q''* á la sección vertical que pasa por dicho vértice *Q*; á cuyo efecto hemos rebatido esta sección hasta colocarla paralela al plano vertical, el punto *Q* ha venido en (*Q'' Q'''*) y como que la tangente resulta ser la *q' Q'''*, la normal ha de ser precisamente la mentada en ω' *Q''*. Así pues, este cono continuará acentuando más la inclinación y se proyectará en *V' Y' l Q*, horizontalmente mientras que en el plano vertical, aparecerá otra vez una faceta de resalto *V X Y* triangular como antes con las dos generatrices de los dos conos y la sección elíptica correspondiente. Se acusan también estos resaltos en proyección horizontal en la línea quebrada del contorno exterior de la junta que resulta en *K'' x' y' X' Y' l*.

En la Fig. 234''', se representa una serie de dovelas, constituyendo hilada demostrando así en perspectiva, del modo como se suceden los distintos conos en sus diferencias de nivel correspondientes á un mismo lecho. La labra de una de estas dovelas se comprende fácilmente una vez vista la labra de los casos anteriores, pues es la misma que allí, ampliándola no más con la faceta de resalto.

Así es que si nos fijamos en la pieza que denominamos △, ésta se obtendrá valiéndonos de un prisma auxiliar, cuyas bases sean la máxima proyección horizontal y altura la máxima de la piedra, sobre la base superior se colocará la cercha *y* γ deducida de la proyección horizontal; con esta curva y el trecho de la elipse *U* β se podrá ya trazar el cono de junta superior por medio de generatrices y sus correspondientes puntos de marca obtenidos en la proyección horizontal. Sobre las testas de la piedra se colocarán las plantillas de junta discontinua obtenidas como se ha visto en los casos anteriores y se colocarán la una en μ θ δ φ ψ, y la otra en μ' θ' α β γ ɸ', ya estas colocadas, á la altura de μ θ dibujaremos sobre el cilindro exterior de apoyo la línea curva horizontal μ μ' y esta línea auxiliada con las rectas μ ɸ, μ ɸ nos facilitarán en el desvaste el trazado del plano horizontal de asiento μ ɸ ɸ' μ' que limitaremos con la plantilla que también nos dará la proyección horizontal. Ahora teniendo á mano las curvas ɸ φ, *x U* podremos definir ya la otra junta cónica inferior que obedece á la misma línea de junta que la anterior. Así tenemos definida la

línea $x\ U$ que junta con la $U\ y$ nos determinan el plano vertical de faceta en el resalto en el cual colocaremos la plantilla triangular $y\ U\ x$ que habremos encontrado anteriormente por medio de un rebatimiento en los planos de proyección. Con las curvas $y\ x$, $\gamma\ \phi'$ considerados como directrices podremos trazar ahora la superficie elíptica de éxtrados y con $\beta\ \varphi$, $\alpha\ \delta$ se podrá formar en el desvaste la superficie elíptica de íntrados obrando como en los casos anteriores.

497. **Cuarto Lechos normales teóricas, juntas alabeadas.**—En rigor no hemos cumplido en los casos anteriores con la normalidad de la junta de lecho, con la superficie de intrados, podía ser más ó menos aproximada pero en absoluto, carecía de este requisito pues es evidente que sus generatrices para que fuesen normales al elipsoide de intrados no habían de concretarse solamente á una tangente de la misma si no que extender este requisito al plano tangente que, pasara por el punto escogido y por lo tanto ser perpendicular á todas las tangentes á las curvas situadas sobre la superficie y pasando por el referido punto.

Si pues queremos que los lechos cumplan teóricamente con esta condición, forzoso se hace modifiquemos todas las construcciones en este sentido. (Lam. 50, Fig. 235). Propongámonos encontrar el lecho normal á lo largo de la línea de junta $K'\ B$.

Escojamos un punto de ella tal como c, c' y tracemos la normal en este punto; en proyección vertical se deduce enseguida que la normal será la recta $O'\ c'\ g'$ puesto que sabemos que en toda superficie de revolución la normal corta al eje. Por otra parte, como que esta recta ha de ser perpendicular á todas las tangentes que pasan por el punto escogido lo será también á una de tantas cual es la horizontal $c\ \alpha$; luego la proyección horizontal de la normal será la recta $c\ g$ perpendicular á la mencionada tangente $c\ \alpha$; falta tan sólo limitar esta normal encontrando su intersección con el elipsoide de extrados.

498. A este efecto tracemos por ella un plano $O'\ g'$ que sea perpendicular al plano de proyección vertical, éste cortará el extrados según una sección elíptica, y el punto que resulte de la intersección de la curva con la normal será el

que buscamos. Obsérvese ahora que dicha sección ha de ser semejante á la producida por un plano $\omega\ G$ paralelo al suyo y que pasa por el centro ω del elipsoide de extrados, teniendo pues esta segunda será fácil encontrar la primera. La sección diametral $\omega\ G$ es una elipse cuyo eje menor es $(\omega\ G,\ O\ G')$, y el eje mayor es $(O\ I,\ \omega)$ que es el eje mayor del elipsoide de extrados, luego claro es que si proyectamos ω en ω', ω' será el centro de la 2.ª elipse cuyo plano pasa por c'; así pues, esta elipse tendrá por ejes $(\omega'\ \psi',\ \omega''\ \phi)$ $(\omega',\ \omega''\ i)$ este último se ha obtenido trazando desde ϕ la recta $\phi\ i$ paralela á la cuerda $G'\ I$ que une los extremos de los semi-ejes de la elipse diametral de que antes hemos hablado, todo en virtud de la semejanza de que se ha hecho mención, constrúyase pues la elipse con los ejes $\omega''\ \phi$, $\omega''\ i$, y esta trazada su intersección con la normal que parte del punto c nos dará el punto $(g,\ g')$ como extremo de la normal.

Estas construcciones se repetirían para las demás normales, en cuanto á la que pasa por el punto B ésta se encuentra directamente en el radio del ecuador $O\ B$ limitándose también en E intersección de dicha normal con la meridiana de extrados, restando sólo á determinar el límite de la normal que pasa por el punto K, K' contenida en el plano de perfil del eje mayor $O\ I$. La resolución en su esencia es análoga á la empleada en el primer caso. Así, este plano de perfil corta al elipsoide de extrados según una elipse cuyo eje menor es $P\ \omega$ y el mayor $O\ I$. Si pues rebatimos este plano alrededor de la horizontal proyectada en el punto O' hasta que este plano se confunda con el de arranque, el eje $(\omega,\ \Theta\ I)$ vendrá á situarse en $\omega'''\ I'$ y el eje menor en $\omega'''\ P''$ igual á $\omega\ P$ puesto que en el giro P se ha colocado en P' y ésta en P''. Pero en este mismo giro la sección principal sobre el intrados se ha confundido con la elipse de arranque $A'\ B$, el punto K situado sobre la línea de hilada ha venido en K'' y finalmente la normal se ha rebatido en $K'''\ n'''$, ahora bien, como ésta corta á la elipse de extrados $P'''\ I'$ construída con el auxilio de los ejes encontrados resulta que el punto n'' será en el rebatimiento el límite de la normal que pasa por el punto K y sólo faltará colocar este punto n''', á su debida posición en el espacio, deshaciendo el giro y colocándose en proyecciones en $\bar{n}\ n'$. De modo que uniendo ahora los puntos así encontrados resultará la curva $n\ g\ f\ E'$ para la proyección horizontal y para la vertical $n'\ g'\ f'\ E$ que será la intersección de la jun-

ta normal con el elipsoide de extrados, iguales operaciones repetiríamos con la junta siguiente *m' C*.

500. El uso de estas juntas de lechos ofrece la ventaja de que al emplear los planos de junta discontinuos tales como *a g*, *b f* éstos pasando por los puntos *c*, *d* y normales á la elipse de hilada nos cortarán según rectas á la superficie del lecho de que se trata siendo estas rectas las mismas normales á la bóveda, esto es, generatrices de la junta alabeada que así habremos producido. Por lo demás, la definición de una piedra tal como la proyectada horizontalmente *a b f g* se ha de llevar á cabo empleando el mismo método que los casos anteriores.

501. **Labra.** Con muy pequeñas modificaciones es análoga también la labra á las que hemos visto dentro de su género (Fig. 235'). Escójase un prisma cuyas bases sea el contorno aparente de la proyección horizontal, y la altura la separación de los planos horizontales que pasan por los puntos *h*, *c*. Sobre la base superior dispóngase la cercha *h e'* colocada con la misma disposición que está en el plano horizontal, tomándose luego á esta curva como base de un cilindro recto cuya proyección vertical está espresada en el triángulo mixtilíneo *h ε e'*, este cilindro se desarrollará en su límite triangular y por medio de el apreciaremos la profundidad á que se encuentra en el interior de la piedra la línea alabeada del extrados que va de *h* á *e'*, constrúyase pues este cilindro perpendicular á la base superior del prisma y al objeto de no profundizar demasiado se ensayará repetidas veces el patrón de desarrollo hasta que pueda adaptarse de una manera precisa en el cilindro así trabajado así tendremos la curva *h e'*. Colóquese ahora en la parte del cilindro cóncavo de la piedra auxiliar una cercha *a b* á la altura de los puntos que indican los *a* y *b*, alturas deducidas de la proyección vertical; esa curva *a b* y la obtenida antes en *h e'* serán ahora las directrices de la superficie alabeada de junta superior la que se trazará, valiéndonos de generatrices y puntos de marca que tendremos buen cuidado de señalar en la proyección horizontal y de allí trasladarlas á la piedra. Sobre el cilindro convexo de la piedra auxiliar se señalará ahora la curva alabeada *g f* desarrollando la parte de cilindro que media entre esta curva y la correspondiente *g'' f''* de la base superior, de

modo que si colocamos ahora en la base inferior de este prisma la cercha *c d* sacada de la proyección horizontal, esta curva elíptica y la alabeada encontrada en *g f* serán directrices para la labra de la junta alabeada inferior.

Finalmente las plantillas de las juntas discontinuas que se proyectan horizontalmente según las rectas *a g*, *b f* podrán encontrarse en su verdadera magnitud empleando el sistema del (n.º 493) y obtenidas éstas se colocarán en las dos caras laterales en *a h g c*, *b d f e'*, restando no más desvastar lo excedente de la piedra y proceder á la formación de las superficies elípticas tanto de intrados como de extrados, tal como hemos hecho repetidas veces.

BOVEDA ELÍPTICA DE TRES EJES DESIGUALES

502. **Quinta. Lechos teóricamente normales. Juntas desarrollables.**—En esta bóveda pueden aplicarse igualmente las soluciones de despiezo anteriores, mas al objeto de aplicar la quinta solución es que echaremos mano de ella para este caso particular. Si recordamos las mentadas operaciones podremos observar como á medida que pasábamos de una á otra solución íbamos cumpliendo cada vez más las condiciones de normalidad y de tal modo que al ocuparnos de la cuarta solución, ésta nos daba ya los lechos exactamente normales; sin embargo la propiedad no quedaba satisfecha en absoluto para con relación á las cruces de líneas y superficies resultando cumplimentado el problema no más á la normalidad del lecho con el intrados, queremos pues ahora considerar el problema en toda su extensión, resolviéndolo en todas sus partes, cuales requisitos pueden concretarse en cuatro condiciones.

1.ª Normalidad de las líneas de juntas continuas con las discontinuas, de modo que sus cruces sobre el intrados se efectúen en ángulos rectos.

2.ª Normalidad de la superficie de los lechos con el intrados.

3.ª Normalidad de las juntas discontinuas con el intrados.

4.ª Normalidad de las superficies de juntas continuas con las discontinuas.

Pues bien, todos estos requisitos podrán satisfacerse adoptando como á líneas de junta tanto de una como de otra clase, las dos series de líneas de curvatura de la superficie de intrados, atención hecha á sus especiales propiedades y que en su lugar párrafo n.° 155. 7.° se consignaron como á consecuencia del espíritu de razonamiento de Gaspar Monge; allí se viene á deducir que las superficies de lecho (y las alternadas quedan constituídas por superficies desarrollables.

503. Pero aún hay más, cuando se trata del caso particular de nuestro elipsoide, estas líneas de curvatura ofrecen propiedades en extremo notables por no llamar sorprendentes y es que se proyectan sobre los planos principales según líneas fáciles de trazar por reunir propiedades conocidas, cuales son las curvas de segundo grado. Elipses é hipérbolas.

El modo como se proyectan estas curvas sobre los planos principales, es el siguiente: (Lamina 51. Fig. 236) *A B C D* es la elipse de arranque y contorno del espacio que hay que cubrir siendo por lo tanto *C D* el eje mayor y *A B* el eje medio de la bóveda. La elipse de la (Fig. 236') representa un corto vertical dado á la bóveda por el eje medio *A B*, esto es, tendremos sobre dicha figura el plano principal que contiene los ejes medio y el menor *o" E=c* de dicha bóveda, y finalmente la (Fig. 236") nos proporciona otra sección principal elíptica también, cuyos ejes son el *C' D'* el mayor y el *o' E'* el menor. Las analogías son las siguientes:

1.° *En el plano de los ejes mayor y medio*. Las líneas se proyectan según elipses é hipérbolas. *En el plano de los ejes medio y menor*. Las líneas se proyectan según hipérbolas y elípses. *En el plano de los ejes mayor y menor*. Las líneas se proyectan unas y otras segun elípses.

2.° Para con respeto á las proyecciones sobre los dos primeros planos, ocurre la particularidad que las curvas que se proyectan horizontalmente en el primero según elípses, tienen por proyecciones verticales, hipérbolas en el segundo y viceversa, esto es, las elípses de éste segundo se proyectan según hiperbolas en el primero.

3.° Todas estas líneas vienen dispuestas rodeando á dos puntos (ω, ω") (ω', ω") á los cuales se aproximan en sus vértices, pero sin que jamás lleguen á alcanzarlos, estos puntos son llamados *Umbilicales* y también *Cíclicos* (del latín Cyclus, derivado del griego *Kiklos*, círculo,) teniendo la propiedad de que en sus inmediaciones la curvatura de la superficie es uniforme, asemejándose á un elemento esférico.

4.° Si el eje menor aumenta, los puntos umbicales van aproximándose á los extremos del eje mayor, hasta confundirse con ellos cuando llega el caso de que el eje menor haya aumentado hasta á igualarse con el eje medio, y entonces el elipsoide se habrá convertido de revolución, pasando todas las elípses de la proyección horizontal por los puntos *C, D*, mientras que los arcos de hipérbola de dicha proyección se convertirán en líneas rectas, cuyos no serán otra cosa que las proyecciones de los distintos pararelos de la superficie.

5.° Estas proyecciones dependen 1.° en el plano de los ejes *a—b*; de una hipérbola y elípse auxiliares *G* ω, *H* ω, que parten en sus vertices del umbilico ω y ofrecen la singularidad, que las coordenadas de la hipérbola auxiliar proporcionan los ejes de las elípses de las proyecciones, mientras que las coordenadas de la elípse *G* ω darán los ejes de las hipérbolas proyecciones horizontales de la segunda serie de líneas de curvatura.—2.° En el plano principal de los ejes *b, c*, también dependen de una elípse é hipérbola auxiliares, el trazado de las proyecciones de las líneas de curvatura, (Fig. 236'), dicha elípse é hipérbola parten juntas en su vértice del punto Umbilico ω", siendo tales que las coordenadas de la elípse nos dan ejes de las hipérbolas y las correspondientes á la hipérbola daran los ejes de las elípses.—3.° En el plano de los ejes *a, c* no más existe una elípse auxiliar cual es *K M*, y de sus coordenadas dependen los ejes de todas las elípses conque se proyectan las dos series de líneas de curbatura.

6.° Los ejes de todas estas elípses é hipérbolas auxiliares, se obtienen en función de los ejes del elipsoide, y por medio de las distancias focales de las secciones principales, siendo respectivamente sus valores analíticos las siguientes expresiones, cuales son fáciles de construir geométricamente por medio de cuartas proporcionales.

EJES DE LAS ELIPSES É HIPÉRBOLAS AUXILIARES

En el plano horizontal ó plano de los ejes *a, b*

$$O\,\omega = a\sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2 - c^2}} \qquad O\,H = b\sqrt{\frac{a^2 - b^2}{b^2 - c^2}}$$

En el plano de proyección vertical ó plano de los ejes *b, c*

$$O''\,\omega'' = c\sqrt{\frac{b^2 - c^2}{a^2 - c^2}} \qquad O''\,J = b\sqrt{\frac{b^2 - c^2}{a^2 - b^2}}$$

En el plano vertical lateral ó plano de los ejes a, c
$$O'M = a\sqrt{\frac{a^2 - c^2}{a^2 - b^2}}$$
$$O'K = c\sqrt{\frac{a^2 - c^2}{b^2 - c^2}}$$

504. Admitiremos desde luego todas estas propiedades al objeto de no demorar la resolución del aparejo y problema estereotómico, construyendo inmediatamente estas cuartas proporcionadas y con ellas las elipses é hipérbolas auxiliares que nos proporcionan las líneas de junta, conforme hemos manifestado, continuando aparte (*) y como á nota todo lo que

(*) Para poder apreciar la curvatura de una línea cualquiera en un punto de ella, se la sustituye en las inmediaciones de este punto, por el arco del círculo osculador, el cual teniendo dos elementos comunes con ella, se confunden, teniendo la misma curvatura en el referido punto.

No podemos hacer otro tanto con las superficies á las cuales no les es dable en general su sustitución en elementos de ellas, por superficies esféricas, pues es bien sabido que en éstas la curvatura es uniforme, no sucediendo así ordinariamente en aquéllas.

Para subsanar este inconveniente y saber á que atenerse para evaluar la curvatura de la superficie, se echa mano de una serie de planos que le sean secantes y que pasen por la normal que parte del punto en donde se desea apreciar aquella propiedad, se averiguan los radios de curvatura de aquellas secciones planas, y por el estudio y comparación de los mismos, se juzga de la curvatura más ó menos pronunciada en torno de dicho punto, así como también del sentido ó dirección de la misma, pues es notorio que existen ciertas superficies que gozan de la propiedad especialísima. (Las no convexas) de que el plano tangente en un punto se encuentra colocado superior é inferiormente á ellas, esto es encontrándose una parte hacia un lado y la otra hacia el opuesto del referido plano tangente.

Estas diversas secciones normales se encuentran relativamente á su curvatura ligada con las secciones oblicuas por medio de ciertas relaciones, cuya dependencia coadyuba al completo conocimiento de la curvatura.

Supongamos que en la superficie representada por $z = f(x, y)$ escojamos el punto $M(x, y, z)$.

Como que las tres variables no están ligadas más que en una sola ecuación, dos de ellas serán independientes, x, y. La ordenada z admitirá en sus diversos órdenes varias derivadas parciales que podemos designar por

$$\frac{dz}{dx} = p, \quad \frac{dz}{dy} = q, \quad \frac{d^2z}{dx^2} = r, \quad \frac{d^2z}{dx.dy} = s, \quad \frac{d^2z}{dy^2} = t;$$

de modo que cuando se haga variar á la vez x, y, las diferenciales totales de z serán

$$dz = p\,dx + q\,dy \qquad (a)$$

$$d^2z = dp\,dx + dq\,dy = r\,dx^2 + 2s\,dx\,dy + t\,dy^2 \qquad (b)$$

Entre todas las secciones normales que pasan por un punto tal como M. existen

se refiere, á la deducción por el análisis de semejantes propiedades enunciadas, ya que no es posible demostrarlas con entera satisfacción valiéndose de medios simplemente geométricos, cuya demostración analítica fué resultado de unos de tantos trabajos del celebrado Gaspar Monge, pues si bien es verdad que otros autores anteriores habían ya indicado la

dos de ellas muy notables pues conocidos que sean sus radios de curvatura puede venirse en conocimiento de los demás en virtud del teorema de Euler que dice:

Entre las secciones normales pasando por un punto* M *de una superficie, existen siempre dos, que se llaman principales teniendo una de ellas un radio* R *de curvatura que es minimum y la otra un radio* R′ *que es maximum: estas dos secciones principales están contenidas en planos perpendiculares entre sí, y una vez conocida la posición de estos planos así como los mentados radios* R, R′ *puede encontrarse fácilmente el radio* ρ *de curvatura de otra cualquiera sección normal que pase por el mismo punto, por medio de la fórmula con que están ligados cual es:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{R}\cos^2\varphi + \frac{1}{R'}\operatorname{sen}^2\varphi$$

En cuya fórmula φ expresa el ángulo del plano de la sección del radio ρ con el de la sección de radio R, y en esta misma fórmula, será necesario considerar como negativo el valor de los radios principales R, ó R' que esté dirijido por encima del plano tangente, esto es en el caso que se trate de una superficie no convexa.

Líneas de curvatura de una superficie, son las que tienen la propiedad de que las normales consecutivas que se trazan por cada uno de los puntos que forman dicha línea se corten sucesivamente, viniendo á formar por lo tanto una superficie desarrollable.

En todo punto de una superficie cualquiera se pueden hacer pasar dos líneas de curvatura y sus primeros elementos son comunes con los correspondientes de las dos secciones principales que pasan por el mismo punto M.

Si pues en un punto cualquiera de una superficie se trata de encontrar las dos líneas de una curvatura correspondientes, se hace preciso impulsemos al punto sobre la misma de modo que se coloque en posiciones sucesivas que las rectas normales vayan cortándose y si conseguimos expresar el lugar geométrico de dichas posiciones por medio de una fórmula que esté en función de los datos y condiciones impuestas, ésta nos dará una ecuación general de las líneas de curvatura y con su auxilio podremos aplicarla á la superficie que se desee como por ejemplo el ***Elipsoide de tres ejes.***

Ecuación general de las líneas de curvatura de una superficie. Sea $z = f(x\ y)$ la ecuación de una superficie referida á ejes rectangulares.

Escojamos un punto M de esta superficie, el cual tiene por coordenadas x, y, z. Un punto infinitamente próximo de M tal como M' tendrá por coordenadas $x + dx$, $y + dy$, $z + dz$.

Si se traza por el punto M una normal á la superficie ésta tendrá por expresión

$$\left.\begin{array}{l} x' - x + p(z' - z) = o \\ y' - y + q(z' - z) = o \end{array}\right\} \quad (1).$$

Las ecuaciones de la normal referente al punto M' serán

cuestión descubriendo, algunas de estas propiedades; él sin embargo las amplió, redondeándo digámoslo así, toda la teoría y descubriendo los detalles más recónditos que contribuyen á justificar y dar una prueba plena de las verdades que forman la teoría general de las curvaturas, así como las particulares que se refieren al elipsoide.

$$(2)\ \begin{cases} x'-x-dx+(p+dp)(z'-z-dz)=o \\ y'-y-dy+(q+dq)(z'-z-dz)=o \end{cases}$$

El punto en donde se cortan las dos normales tiene por coordenadas las que hemos llamado x', y', z', si pues estas normales se cortan han de venir obligadas á satisfacer las ecuaciones (1) y (2) de las cuales se infiere

$$\left.\begin{aligned} dx+p\,dz&=(z'-z)\,dp \\ dy+q\,dz&=(z'-z)\,dq. \end{aligned}\right\}(3)$$

Así pues las coordenadas, $x'\ y'\ z'$ del punto donde se cortan las dos normales vendrán dadas por la combinación de las curvas (1) y (3).

Aquí el número de las ecuaciones excede al de las incógnitas x', y', z' y esto indicaría que las normales no se cortarían por próximo que escogiéramos el otro punto, á menos que no se escogiera de tal particular manera que satisfaciera á la ecuación de condición formada con el auxilio de los sistemas (1) y (3), por la eliminación de las incógnitas x', y', z'. Puede obtenerse fácilmente esta ecuaciún de condición pues que en (3) no contiene más que la z'; así es que eliminando el binomio $(z'-z$ se tendrá

$$dx+p\,dz-dp(z'-z)=o \quad , \quad z'-z=\frac{dx+p\,dz}{dp}$$

$$dy+q\,dz-dq(z'-z)=0 \qquad z'-z=\frac{dy+q\,dz}{dq}$$

$$\frac{dx+p\,dz}{dp}=\frac{dy+q\,dz}{dq.}\ (4)$$

Mas por otra parte en virtud de las expresiones (a) (b) se tienen las igualdades

$$dz=p\,dx+q\,dy \quad , \quad dp=r\,dx+s\,dy \quad , \quad dq=s\,dx+t\,dy$$

cuales valores sustituídos en la ecuación (4) nos dará

$$\frac{dx+p(p\,dx+q\,dy)}{r\,dx+3\,dy}=\frac{dy+q(p\,dx+q\,dy)}{5\,dx+t\,dy}$$ y procediendo á efectuar simplificaciones se convertirá en $$\frac{dx(1+p^2)+pq\,dy}{r\,dx+s\,dy}=\frac{dy(1+q^2)+pq\,dx}{s\,dx+t\,dy}$$

efectuadas las operaciones y poniéndolo en forma de una ecuación en que el segundo miembro sea igual á cero, resultará definitivamente

$$\left(\frac{dy}{dx}\right)^2\Big[(1+q^2)s-pq\,t\Big]+\frac{dy}{dx}\Big[(1+q^2)r-(1+p^2)\,t\Big]-\Big[(1+p^2)s-pqr\Big]=0\ (5)$$

Esta es pues la ecuación diferencial de las líneas de curvatura, porqué las cantidades p, q, r, s, t, siendo funciones conocidas de las coordenadas x, y, z, del punto dado M, establece una dependencia entre los aumentos dx, dy que sirven para fijar el punto M'; y puesto que dicha ecuación asigna, no la magnitud absoluta de estos crecimientos, pero si el valor de la relación $\frac{dy}{dx}$ igual á una corta tangente higronométrica, bien puede inferirse que dé completo conocimiento en proyección sobre el plano de la x, y, de la dirección que es necesario pasar desde el punto M á un infinitamente próximo M' para que llegue á cortarse sus normales.

505. Construyamos ante todo los focos de estas tres elipses principales, y estos los obtendremos en los puntos F, F', F'' y con ellos las excentricidades

$$OF=\sqrt{a^2-b^2}\ O'F''=\sqrt{b^2-c^2} \ ,\quad O''F''\sqrt{a^2-c^2}$$

Con su auxilio ahora procedamos á la obtención de los ejes de las elipses é hipérbolas auxiliares. Para *el eje o* ω·

Esta ecuación (5) siendo de segundo grado, indica que pueden trazarse dos direcciones desde el punto M de modo que pertenezcan á dos líneas de curvatura.

Partiendo desde el punto M' (F.ª 236, L.ª 51) existirán del mismo modo dos puntos próximos M'' y μ en las que las normales encontrarán las del M'; si pues se toman en consideración una de ellas, la de M'', que está en el mismo sentido que $M\ M'$ y que luego se continua encontrando, siempre en la misma dirección, el punto vecino en el que la normal corte á la de M'', se llegará á obtener una primera línea de curvatura $M\ M'\ M''\ M'''$ de la superficie.

La segunda línea de curvatura relativa al punto M se obtendrá de una manera análoga, siendo $M\ M\ G\ G'\ G''$, y como estas construciones pueden reproducirse por cada punto G, G' — etc., se llegarán á formar así dos series de líneas de curvatura que dividirán á la superficie por una red de cuadriláteros curvilíneos é infinitamente pequeños, cuyos lados se cortarán siempre en ángulo recto.

Líneas de curvatura del Elipsoide.—Se desprende de los resultados obtenidos que para hacer la debida aplicación de la ecuación general de las líneas de curvatura á una superficie particular; por ejemplo al Elipsoide, se habrá de deducir la ecuación referente á sus líneas de curvatura en cantidades finitas por lo que se diferenciará la ecuación de esta superficie para con respecto á x é y hasta el segundo orden para así conocer los valores de p, q, r, s, t, derivadas parciales de las ordenadas z, mientras que la x y la y son las variables independientes.

Estos valores encontrados se sustituirán en la ecuación general (5) y así obtener la ecuación diferencial de la proyeción de las líneas de curvatura sobre el plano de x, y. Intégrese luego este resultado, determinando la constante arbitraria que lleva consigo la integración, de modo que la curva pase por el punto dado sobre la superficie; pero atendiendo que según la estructura de la ecuación diferencial (5), esta constante arbitraria entrará en el segundo grado en la integral, admitirá para cada punto de la superficie, dos valores generalmente distintos, los cuales corresponderán á las dos líneas de curvatura relativa al referido punto.

La ecuación del Elipsoide es $\frac{x^2}{a^2}+\frac{y^2}{b^2}+\frac{z^2}{c^2}=1$ y diferenciándola sucesivamente con relación á x é y hasta el segundo orden tendremos

$$p=\frac{dz}{dx}=-\frac{c^2x}{a^2z}\ ,\ q=\frac{dz}{dy}=-\frac{c^2y}{b^2z}\ ,\ r=\frac{d^2z}{dx^2}=\frac{-c^4(b^2-y^2)}{a^2b^2z^3}$$

$$s=\frac{d^2z}{dx\,dy}=\frac{-c^4xy}{a^2b^2z^3}\ ,\ t=\frac{d^2z}{dy^2}=\frac{-c^4(a^2-x^2)}{a^2b^2z^3}$$

Tómese $o\,f = O\,F$, así como $o\,f'' = O\,F''$, trazando luego por f una paralela á la recta que una f'' con C, su intersección ω con $O\,C$ nos dará el punto ω y con el, la distancia $O\,\omega$ uno de los ejes de la elipse é hipérbola auxiliares en el plano de los ejes a, b.

En efecto, los triángulos $\omega\,f\,o$, $f''\,O\,C$ nos darán en su semejanza

---

Sustituidos estos valores en la ecuación general (5) la convertirá en

$$\frac{dy^2}{dx^2}\left[\left(1+\frac{c^4 y^2}{b^4 z^2}\right)\frac{-c^4 xy}{a^2 b^4 z^3}-\left(-\frac{c^2 x}{a^2 z}\times-\frac{c^2 y}{b^2 z}\times\frac{-c^4(a^2-x^2)}{a^2 b^2 z^3}\right)\right]+\frac{dy}{dx}$$

$$\left[\left(1+\frac{c^4 y^2}{b^4 z^2}\right)\frac{-c^4(b^2-y^2)}{a^2 b^2 z^3}-\left(1+\frac{c^4 x^2}{a^4 z^2}\right)\frac{-c^4(a^2-x^2)}{a^2 b^2 z^3}\right]+$$

$$+\left[\left(\frac{c^2 x}{a^2 z}\times-\frac{c^2 y}{b^2 z}\times\frac{-c^4(b^2-y^2)}{a^2 b^2 z^3}\right)-\left(1+\frac{c^4 x^2}{a^4 z^2}\right)\frac{-c^4 xy}{a^2 b^2 z^3}\right]=0$$

Simplificando resulta

$$\frac{(b^2-c^2)\,xy}{b^2(a^2-b^2)}\cdot\frac{dy^2}{dx^2}+\frac{dy}{dx}\left(\frac{(a^2-c^2)\,x^2}{a^2(a^2-b^2)}-\frac{(b^2-c^2)\,y^2}{b^2(a^2-b^2)}-1\right)-\frac{(a^2-c^2)\,xy}{a^2(a^2-b^2)}=0.$$

Al objeto de abreviar y hacer mas expedita la resolución hagamos

$$A=\frac{a^2(a^2-b^2)}{a^2-c^2}\quad,\quad B=\frac{b^2(a^2-b^2)}{b^2-c^2}$$

lo que hará convertirla en

$$\frac{xy}{B}\cdot\frac{dy^2}{dx^2}+\left(\frac{x^2}{A}-\frac{y^2}{B}-1\right)\frac{dy}{dx}-\frac{xy}{A}=0$$

Finalmente, quitando denominadores será

$$A\,x\,y\,d\,y^2+(Bx^2-Ay^2-AB)\,d\,x\,d\,y-B\,x\,y\cdot d\,x^2=0 \qquad (6)$$

Esta pués es la ecuación diferencial de las líneas de curvatura del Elipsoide, proyectadas sobre el plano de las x, y. Supongamos ahora que este plano es el que contiene el eje mayor y el eje medio, admitiendo según esto que $a > b > c$ por cuyas relaciones las constantes A y B serán positivas.

Para integrar la ecuación (6) en donde las diferenciales están elevadas al segundo grado, será conveniente proceder antes á su diferenciación, pues sabido es que por este medio, se logra muchas veces simplificar esta clase de ecuaciones.

Efectuándolo así obtendremos la siguiente expresión

$$d^2y\,[2\,A\,x\,y\,d\,y+(Bx^2-Ay^2-A\,B)\,dx]+A\,dy^2(xdy+ydx)-2A\,y\,d\,y^2\,dx+$$
$$2\,B\,x\,d\,y.\,d\,x^2-B\,d\,x^2(x\,d\,y+y\,d\,x)=0$$

Simplificándola ahora resultará esta otra

$$d^2y\,[2\,Axydy+(Bx^2-Ay^2-AB)\,dx]+(Ady^2+Bdx^2)(xdy-ydx)=0 \qquad (7)$$

Más si se observa que la ecuación (6) dá

$$(Bx^2-Ay^2-AB)\,dx=\frac{B\,x\,y\,d\,x^2-A\,x\,y\,d\,x^2}{d\,y}$$

entonces la ecuación (7) podrá descomponerse del modo siguiente una vez que se simplifique después de la sustitución

$$\frac{O\,\omega}{O\,C}=\frac{O\,f}{O\,f''}\ \text{ó bien}\ O\,\omega=O\,C\,\frac{O\,f}{O\,f''}=a\,\frac{\sqrt{a^2-b^2}}{\sqrt{a^2-c^2}}$$

Para el eje O H. Tómese sobre $O\,C$, la distancia $O\,f'=O''\,F'$, únase f' con B, trazando luego la $F\,H$ paralela á la misma, el punto H nos dará con su distancia al punto O el otro eje $O\,H$ de la elipse é hipérbola auxiliar del plano horizontal.

$$(A\,d\,y^2+B\,d\,x^2)\,[x\,y\,d^2y+(x\,d\,y-y\,d\,x)\,d\,y]=0$$

Pero A y B son cantidades positivas y por lo tanto no puede ser el primer factor igual á cero. razón por la cual podemos despreciar este factor dividiendo enseguida por x^2 y así obtendremos

$$\left(\frac{y}{x}\right)d^2y+d\,y\left(\frac{x\,d\,y-y\,d\,x}{x^2}\right)=0 \qquad (8)$$

Resulta ahora que el primer miembro es la diferencial exacta de un producto, por lo que su integración será fácil y dará

$$\left(\frac{y}{x}\right)d\,y=\beta\,d\,x\quad,\quad y\,d\,y=\beta\,x\,d\,x$$

en donde β dengua la constante arbitraria. Volviendo ahora á integrar será

$$y^2=\beta\,x^2+\gamma \qquad (9)$$

Resultado que indica que las proyecciones de las líneas de curvatura serán curvas de segundo grado, sección cónica concéntrica al elipsoide, cuyos ejes están dirigidos según la línea de las x y de las y, por la cual las magnitudes de los ejes son arbitrarios, pudiendo ser con esto una elipse ó una hipérbola, según el signo de la constante β. Mas como no más hemos de poder disponer de una constante arbitraria y aquí habría una de más porque la ecuación diferencial que se trataba de integrar era de primer orden. Proviene esta circunstancia de que al diferenciarse la ecuación (6) sin eliminar la constante, obtuvimos una ecuación (7) mas general que la propuesta, y esto hace particularizar aún más la significación de la integral (9), sujetándola á satisfacer la ecuación (6); sustituyamos en esta última los valores que se deducen de la ecuación (9) para y, dy, se encontrará la condición

$$A\gamma+B\,\frac{\gamma}{\beta}+A\,B=0.\ \text{ó bien}\ \gamma=\frac{-A\,B\,\beta}{A\beta+B} \qquad (10)$$

Cuya es la dependencia que debe existir entre las constantes β y γ para que la ecuación (9) sea la integral de la (6), á cuyo efecto, una sola de estas constantes, β por ejemplo queda arbitraria.

Precisa ahora para completar la solución del problema, fijar el punto de la superficie por el cual han de pasar las dos líneas de curvatura, y por lo tanto espresar que la ecuación (9) viene satisfecha por las coordenas x', y' de dicho punto. Con esto resultará una ecuación apropósito para la determinación de β, suministrando á esta constante dos valores siempre de signo contrario, propiedad digna de tenerse en cuenta en este caso pues ella indicará que las dos líneas de curvatura, relativas á un mismo punto del Elipsoide, serán siempre proyectadas según curvas de *géneros opuestos*, sobre el plano que contiene el eje mayor y el medio.

Sustituyamos á este efecto, en la ecuación (9) las coordenadas del punto en cuestión, x', y' así como también el valor de γ deducido de la ecuación (10) y se obtendrá

Se evidencía por los triángulos semejantes $Q\ f'\ B$, $O\ F\ H$ que dan

$$\frac{O\,H}{O\,B}=\frac{O\,F}{O\,f'},\quad O\,H=O\,B\times\frac{O\,F}{O\,f'}=b\,\frac{\sqrt{a^2-b^2}}{\sqrt{b^2-c^2}}$$

Para *el eje* $O''\ \omega''$. Tómese $o''\ f'=O'\ F''$, trazando luego la paralela $F'\ \omega''$ á la recta $f'\ E$ el punto de intersección ω''

$$y'^2=\beta\,x'^2-\frac{A\,B\,\beta}{A\,\beta+B}.$$

resolviendo ahora esta ecuación de segundo grado se tendrá

$$(A\,\beta+B)\,y'^2=(A\,\beta+B)\,\beta\,x'^2-A\,B\,\beta.$$

$$-A\,x'^2\,\beta^2+(A\,y'^2-B\,x'^2)\,\beta+B\,y'^2=0$$

$$\beta=\frac{A\,y'^2-B\,x'^2+A\,B\pm\sqrt{(A\,y'^2-B\,x'^2+A\,B)^2+4\,A\,B\,x'^2\,y'^2}}{2\,A\,x'^2}\qquad(11)$$

Como que en esta ecuación el término $4\,A\,B\,x'^2 y'^2$ es positivo, resultará que la parte irracional excederá siempre de la racional en cuanto á su magnitud absoluta, siendo con esto dos valores de β de signos contrarios.

Con referencia ahora á la constante γ, ésta será siempre de signo contrario á β. En efecto el valor (10) prueba que cuando β es positivo, γ será negativo; además, el valor negativo de β sacado de la ecuación (11) y sustituyendo en la (10), hará siempre al denominador $A\,\beta+B>0$ pues esta condición es equivalente á

$$A\,y'^2+B\,x'^2+A\,B>\sqrt{(A\,y'^2-B\,x'^2+A\,B)^2+4\,A\,B\,x'^2\,y'^2}\qquad\text{ó bien}$$

$$A\,y'^2+B\,x'^2+A\,B>\sqrt{(A\,y'^2+B\,x'^2+A\,B)^2-4\,A\,B\,x'^2\,y'^2}$$

Cual desigualdad subsistirá siempre por sí misma. Así pues cuando β sea negativo γ será positivo y recíprocamente.

Infiérese de aquí, que para cada punto del Elipsoide, las proyecciones de las líneas de curvatura vienen representadas por dos ecuaciones de la forma

(11) $\qquad y^2=-\beta'\,x^2+\gamma'\ ,\quad y^2=+\beta''\,x^2-\gamma''.$

proyectándose la primera según una elipse (L.ª 51., Fig. 236) $M\ G\ G'\ G''$ y la segunda según una hiperpérbola $M\,M'\ M''\ M'''$ que son concéntricas con la elipse principal $A\ C$ y cuyos ejes coinciden en dirección con los de esta curva.

Calcúlense pues estos ejes para cada punto del elipsoide, con el auxilio de las ecuaciones (10) y (11),

Elipse é hipérbola auxiliares: Pues que las constantes $\beta\ \gamma$ tienen siempre signos contrarios, y que, γ, adquiere en cada punto del elipsoide un valor positivo para la primera serie de línea de curvatura y un valor negativo para la segunda serie, podremos fácilmente introducir dos nuevas constantes que se presten mejor á las aplicaciones, así convendremos en que

(12) $\qquad \dfrac{\gamma}{\beta}=-m^2\ ,\quad \gamma=\pm\,n^2$

sustituyéndolos luego en la ecuación (9), se obtendrá entre m y n la relación

(13) $\qquad \dfrac{m^2}{A}\mp\dfrac{n^2}{B}=1\quad$ en donde el signo superior se refiere á las líneas de

con el eje menor $O''\ E$ nos dará la distancia $\omega''\ o''$ para el eje $O''\ \omega''$.

Los triángulos $F'\ \omega''\ O''$, $f'\ E\ O''$ nos dan

$$\frac{O''\,\omega''}{O''\,E}=\frac{F'\ O''}{f'\ o''},\quad O''\,\omega''=O''\,E\,\frac{F'\,O''}{f'\ O''}=c\,\frac{\sqrt{b^2-c^2}}{\sqrt{a^2-c^2}}$$

Para el eje $O''\ J$. Tómese sobre $O''\ E$ las distancias $O''\ f'=O''\ F'$, $O''\ f=O\ F$. tracese luego por f' la recta $f'\ J$ parale-

---

curvatura elíptica, lo que prueba que las dos cantidades m, n constantes para una misma línea de curvatura de la cual son los semiejes, y variables de una á otra línea de la misma serie, tienen siempre para magnitudes simultáneas las dos coordenadas de un punto tomado arbitrariamente sobre una hipérbola ó sobre una elipse *auxiliares* cuyos semiejes comunes é invariables son $\sqrt{A}$ según OX y $\sqrt{B}$ según OY este último siendo el eje imaginario de la hipérbola.

Los valores de $\sqrt{A}$ y $\sqrt{B}$ se conocen, pues no hay mas que recordar que anteriormeute y con el objeto de abreviar los cálculos se convino en hacer $\dfrac{a^2\,(a^2-b^2)}{a^2-c^2}=A$, $\dfrac{b^2\,(a^2-b^2)}{(b^2-c^2)}=B$, lo que convirtió la ecuación diferencial de las líneas de curvatura en una expresión mas sencilla, tal como la (6).

Puntos Umbilicales ó puntos cíclicos. Observemos en la *F.*ª 236, *L.*ª 51 que al considerar una línea cualquiera de la primera serie tal como la UV, si suponemos que el punto V, se mueve caminando sobre BO, aproximándose hácia el centro O, las ordenadas tal como SU de la hipérbola auxiliar $\omega\ G$ van disminuyendo hasta que cuando V llega en el mismo punto O, dicha ordenada se habrá reducido á cero esto es, se habrá anulado; habrá quedado no más de la anterior elipse el semieje mayor que será la recta $O\ \omega$ por mejor decir la recta $\omega'\ O\ \omega$, por lo que se infiere que la sección principal del elipsoide que contiene los ejes a, c es por sí misma una línea de curvatura, lo que ya podía suponerse desde el momento que todas las normales de la superficie en todos los puntos de dicha curva están contenidas en dicho plano.

Por el contrario si el punto V se mueve alejándose de O y aproximándose á B, entonces los ejes de las elipses crecen y cuando alcanza al punto B, entonces a elipse se confunde con la $B\ C$, esto es, la principal de los ejes a, b, llegando por lo tanto, la ordenada $C\ B'''$ de la hipérbola auxiliar á su máximum, sería pues inútil el querer encontrar ordenadas de la hipérbola $\omega\ G$ más allá de la ordenada $C\,B'''$, pues si bien es cierto que podrían trazarse otras y éstas también nos darían ejes para elipses, éstas caerían fuera del contorno de nuestra superficie, no pudiendo por lo tanto convenirnos por no recibir ninguna proyección de punto real del elipsoide: esta restricción puede explicarse puesto que la ecuación (13) no determina por sí sola ninguna línea de curvatura en el espacio, pues es necesario combinarla con la ecuación de la superficie, no admitiendo mas que las soluciones que le sean comunes.

Consideremos ahora una de las hipérbolas de la segunda línea de curvatura, la Qm por ejemplo, cuando Q se mueve sobre $O\ C$ aproximándose á O, el eje real va disminuyendo y el imaginario aumentando hasta que al fin Q se confunde con O anulándose el eje real, alcanzando el imaginario la ordena $O\ H$ máxima de la elipse auxiliar $C\ P\ H$, convirtiéndose por lo tanto en la recta $O\ H$ la proyección horizontal

la á la $f\ B'$, dándonos así al cortar á la $O''\ B'$ el punto J y con él el otro eje $O''\ J$. Los triángulos $O''\ f'\ J$, $O'\ f\ B'$ nos dan

$$\frac{O''\ J}{O''\ B'} = \frac{O''\ f'}{O''\ f},\ O''\ J = O''\ B'\ \frac{O''\ f'}{O''\ f} = b\ \frac{\sqrt{b^2 - c^2}}{\sqrt{a^2 - b^2}}$$

Para el eje $O'\ M$. Tómese sobre $O'\ E'$ las distancias $O'\ f = O\ F$, $O'f'' = O'\ F''$, únase f con C', trazándole luego la paralela $f''\ M$ la cual nos dará el punto M y con él el eje $O'\ M$.

En efecto, los triángulos $O'\ f\ C'$, $O'\ f''\ M$ nos darán por semejantes

$$\frac{O'\ M}{O'\ C'} = \frac{O'\ f''}{O'\ f},\ O'\ M = O'\ C'\ \frac{O'\ f''}{O'\ f} = a\ \frac{\sqrt{a^2 - c^2}}{\sqrt{a^2 - b^2}}$$

---

de la línea de curvatura, lo que indica que la sección principal que contiene los ejes b, c, es por sí misma una línea de curvatura.

Pero cuando el punto Q se aleja de O aproximándose á C, entonces sucede lo contrario que antes, esto es, el eje imaginario de las hipérbolas que se van sucediendo, va disminuyendo mientras que el real aumenta, hasta que llegado un momento que Q se confunde con ω en cuyo caso el eje imaginario se habrá anulado, quedando reducido la línea á dos porciones rectilíneas ω C, $\omega'\ D$ que completan la línea de curvatura ya obtenida de la primera serie y proyectada sobre la recta $\omega\ O\ \omega'$.

Si continúa avanzando el punto escogido y pasa á la derecha del punto ω tal como U, en este caso las líneas que antes eran hipérbolas, vendrán ahora á ser elipses á causa de que la ordenada que se levante por el punto U ó todo otro entre ω y C ya no costará á la elipse auxiliar, pero en cambio lo hará con la hipérbola auxiliar. Por otra parte ya en la ecuación (13) cuando en ella se toma $m > O\omega = \sqrt{A}$, se hace preciso adoptar el signo negativo para el término $\frac{n^2}{B}$; de este modo es una hipérbola que determina entonces el valor correspondiente de n.

De aquí se infiere que existen en el Elipsoide cuatro puntos proyectados en ω, ω' alrededor de los cuales, las líneas de curvatura de las dos series, tienen una disposición contraria con respecto á sus concavidades, viniendo á confundirse al llegar á estos puntos, en donde verifican el paso de las unas con respecto á las otras.

Estos son los puntos llamados *umbilicos* en los cuales todas las secciones normales tienen la misma curvatura.

En efecto, las ecuaciones de condición que caracterizan los puntos umbilicales, hacen siempre idénticos los resultados de la ecuación diferencial de las líneas de curvatura (Véase la Geometría analítica), podríamos encontrar estos puntos singulares igualando á cero los tres coeficientes de la ecuación (6) lo que resultarán las ecuaciones simultáneas

$$xy = 0\ \ ,\ \ Bx^2 - Ay^2 - AB = 0$$

pero la hipótesis $x = 0$, no conduciendo aquí sino á valores imaginarios de y, resultarán no mas las soluciones.

$$y = 0\ \ ,\ \ x = \pm\sqrt{A}$$

las cuales corresponden á los puntos umbilicales ω, ω' sobre el plano de las x, y.

Para el eje $O'\ K$. Colóquese sobre $O'\ D'$ la distancia $O'\ f' = O''\ F'$, y desde F''' trácese la paralela á $f'\ E'$, cual es la $F''\ K$, el punto K nos dará el eje $O'\ K$.

Se comprende por los triángulos $O'\ f'\ E'$, $O'\ F''\ K$ que en su semejanza nos dan

$$\frac{O'\ K'}{O'\ E'} = \frac{O'\ F''}{O'\ f'},\ O'\ K' = O'\ E'\ \frac{O'\ F'}{O'\ f'} = c\ \frac{\sqrt{a^2 - c^2}}{\sqrt{b^2 - c^2}}$$

506. Ya conocidos estos seis ejes, procédase al trazado: 1.° de la Elipse $\omega\ H$ y de la hipérbola $\omega\ G$ en el plano horizontal. 2.° de la Elipse $\omega''\ J$ y de la hipérbola $\omega''\ I$ del plano vertical de frente, y 3.° de la Elipse $M\ K$ del plano vertical lateral.

Ahora cada una de estas curvas auxiliares nos dá con cada dos de sus ordenadas los ejes de la línea de curvatura de nombre opuesto.

507. Así en el *plano horizontal*, un punto cualquiera P tomado sobre la elipse $\omega\ H$, tiene dos coordenadas $P\ Q$, $P\ R$, que serán ejes de una hipérbola, $m\ Q$ mientras que un punto cualquiera tomado en S sobre la hipérbola $\omega\ G$, dará dos coordenadas $S\ U$, $S\ V$ que serán ejes de una elipse tal como $U\ V$.

508. En el *plano vertical de frente* un punto cualquiera P' tomado sobre la elipse $\omega''\ J$ nos proporcionará con sus coordenadas $P'\ Q'$, $P'\ R'$, los ejes de una hipérbola $Q'\ V'$, una de tantas de una serie de líneas de curvatura, mientras que si el punto se escoge en m'' sobre la hipérbola $\omega''\ I$ tendremos dos coordenadas $m''\ m'$, $m''\ n$ que servirán de ejes de una de las elipses $n\ m''$ de la otra serie de líneas de curvatura.

509. Finalmente en el plano vertical de la (Fig. 236'') un punto cualquiera e tomado sobre la elipse $M\ K$ nos dará dos coordenadas de una de las elipses tal como $g\ h$, proyecciones de las líneas de curvaturas en dicho plano.

510. Fácilmente se concibe que en el despiezo no ha de ser indiferente la elección de los puntos en estas elipses é hipérbolas auxiliares para así obtener los ejes de las líneas de curvatura que van á servir de líneas de junta, para las hila-

das respectivas; han de depender pues estos puntos de la regularidad y del número de las hiladas que van á formar parte del aparejo, tanto en las continuas como en las discontinuas.

Con este motivo dividamos la sección principal B' E de la Figura 236′ en un número impar de partes iguales $B\,i'$, i' V'. V' j', j' l'; estos puntos se proyectarán horizontalmente en B, i, V, j, l. Tomemos en consideración uno de estos puntos, que lo que hagamos con él servirá de norma para los demás, el V, por ejemplo. Trácese la perpendicular $V\,S$ á la A B, dicha recta cortará en S á la hipérbola K G, las coordenadas de este punto G correspondiente á la hipérbola serán $U\,S$, $S\,V$ y con ellas tendremos los ejes O U, O V de la elipse U V línea de hilada continua. Esta elipse se proyectará verticalmente en la Fig. 236′ según una hipérbola, cuyos ejes se encontrarán del siguiente modo: Proyéctese U en U' en la Figura 236″ transportando luego la altura U' u en O' U'' en la Figura 236′ transportando luego la altura $U\,u$ en O'' U''' en la Fig. 236′ haciendo partir luego de U''' la recta U^{IV} U''' paralela á la línea de tierra, ésta nos cortará á la elipse auxiliar ω' J según el punto P'; ahora las coordenadas de este punto Q'' R', O'' U^{IV} nos darán los ejes de la hipérbola U^{IV} V'. Esta línea en definitiva será la proyección vertical de la elipse antes trazada en la proyección horizontal, ambas á dos proyecciones de una misma línea de curvatura.

511. Por lo que se refiere á las líneas de curvatura de la segunda serie, dividamos la elipse de arranque B C en un número impar de partes iguales tal como aparecen en la figura, proponiéndonos encontrar la línea de junta discontinua que pasa por el punto m por ejemplo, éste se proyecta verticalmente en m', y la vertical que pase por ella m' m'', cortará á la hipérbola ω'' I en m'' por el cual haremos pasar las coordenadas de la hipérbola las cuales nos darán los ejes O'' n, O'' m' de la elipse n m', falta ahora encontrar su proyección horizontal en la hipérbola Q m. A este efecto traslademos la altura O'' n en n'' v y al punto n'' servirá para bajar la proyectante n'' Q la cual cortará en P á la elipse auxiliar de la proyección horizontal, obteniendo con él dos coordenadas que nos proporcionarán los ejes, O Q, O R de la hipérbola Q R.

512. En cuanto á las proyecciones de estas líneas de curvatura en el plano vertical lateral de la Fig. 236″ no son de estricta necesidad para las operaciones ulteriores de estereotomía, pero si se quieren obtener para tener completado el problema de las proyecciones puede hacerse fácilmente valiéndonos de la elipse auxiliar $M\,K$.

Así levantando por m la proyectante perpendicalar á L' T', nos cortará en e á la elipse auxiliar, las coordenadas del punto e nos proporcionarán los ejes h O', O' g de la elipse h g proyección sobre este plano de la línea de curvatura proyectada en el plano horizontal según la hipérbola m Q. Del mismo modo la línea de curvatura que se proyecta según la elipse V U en el plano horizontal, tendrá por proyección vertical en el plano L' T' la elipse t' V'' cuyos ejes t' O', O' V'' se han obtenido transportando en altura el punto V' de la Figura 236′ en t en la Fig. 236″ y trazando enseguida la horizontal t V'', así como la ordenada t t'.

Concretándonos pues á las figuras 236, 236′ tendremos que las líneas de lecho estarán proyectadas en elipses en la proyección horizontal é hipérbolas en la vertical, mientras que las juntas alternadas serán hipérbolas en la proyección horizontal y elipses en la vertical.

513. Haciendo resbalar rectas por todas estas líneas de modo que sean normales á las superficies de intrados, el conjunto de las mismas nos darán las superficies de junta continuas y discontinuas, y según es sabido, las unas y las otras constituirán superficies desarrollables las que habremos de prolongar hasta tanto que corten la superficie del elipsoide de extrados y así ultimar todo el aparejo detallando cada pieza en particular.

514. *Representación de una piedra.*—Escojamos la dovela que está representada en el intrados por a b c d, a' b' c' d'. Determinemos las normales en todos los puntos de este cuadrilátero curvilíneo; por ejemplo la normal en el punto (d, d'). A este efecto tracemos el plano tangente por este punto con el auxilio de las dos tangentes $(d\,\Delta, d'\,\Delta')$, $(d\ \Sigma, d'\ \Sigma')$ á las dos curvas que pasan por el punto d. Este plano tiene por traza horizontal la recta Ω y en cuanto á la dirección de la traza vertical está representada por Φ (decimos dirección porque cayendo fuera de los límites del dibujo la traza vertical, ha sido preciso valerse de una vertical del plano proyectada horizontalmente p p'), trazando pues por el punto (d, d')

la recta ($d\ \delta$, $d'\ \delta'$) respectivamente perpendicular cada una de estas proyecciones á la respectiva traza del plano á que lo es en el espacio, obtendremos la normal pedida.

515. Ahora es necesario encontrar su intersección δ, δ' con el elipsoide de extrados. Nos valdremos para esto de un plano que pase por esta recta y perpendicular al plano vertical; este plano que es $R\ O'''$, corta al elipsoide según una elipse semejante á su sección diametral paralela $O''\ \theta$, por lo tanto construyendo ésta y luego aquélla por serle semejante, (proyectando O'' en O''' y construyendo enseguida sus ejes $O^V\ S$, $O^V\ R^V$, valiéndose de la semejanza antedicha) vendrá á dibujarse de R' á S cortando (δ, δ') á la normal de que se trata. Idénticas operaciones podemos hacer con los demás puntos y así se tendrán las curvas $\alpha\ \delta$, $\beta\ \gamma$, $\beta\ \alpha$, $\gamma\ \delta$, intersecciones las dos primeras de las dos juntas de lecho con el elipsoide de extrados, así como las dos segundas lo son de la intersección de este mismo con las juntas discontinuas.

Labra (Fig. 236''' Lám. 50). Lábrese un prisma auxiliar cuyas bases sea el contorno aparente de toda la piedra sobre el plano horizontal mientras que la altura sea la separación que existe entre dos planos horizontales que pasan por los puntos más alto y bajo de la piedra. Aquí estos puntos son los indicados en la proyección vertical por β', d'. Este prisma afectará la forma que nos dan las letras $\alpha'\ a'\ b''\ c''\ d\ \delta'$, $\delta''\ \alpha''$. Procede ahora en éste á colocar todos los puntos del contorno midiendo con precisión sus alturas con respecto al plano de la base inferior del prisma, el que se toma por plano de comparación. Estas alturas es evidente que se han de tomar en el plano vertical y luego trasladarlas á la piedra. Así tomaremos sobre las aristas correspondientes las alturas $b''\ b$, $c''\ c$, (d quedará en el mismo punto por ser el más bajo y estar en el plano de comparación), $\delta'\ \delta$, $\alpha'\ \alpha$, $a'\ a$. Unase enseguida el punto b con c por medio de la curva $b\ c$ valiéndose de una cercha aplicada en la parte cóncava del cilindro; colóquese después en la parte superior del prisma la cercha auxiliar $\beta'\ \gamma'$ la cual es proyección sobre este plano de la curva de extrados $\beta'\ \gamma$, si pues labramos un cilindro vertical comprendido entre estas dos curvas y cuyo desarrollo se puede inferir de los planos de proyección vertical y horizontal, con el auxilio de este desarrollo se podrán trazar las generatrices *1-1'*, *2-2'*, *3-3'* y así profundizar el labrado hasta obtener en

la parte cóncava de éste $\beta'\ \gamma'\ \gamma$ la curva $\beta'\ \gamma$, con ésta y la $b\ c$ podemos ya trazar la superficie de junta desarrollable por medio de generatrices y puntos de marca que trasladaremos desde los planos de proyección á la piedra. Igualmente haremos con la junta inferior colocando ante todo en la parte convexa del mismo la curva $\alpha\ \delta$, pudiendo encontrar en proyecciones y trasladarla luego á la piedra la curva $v\ d$ intersección de dicha junta con el plano de la base inferior, con estas dos curvas es cuando ahora se labrará la segunda superficie desarrollable valiéndonos como siempre de puntos de marca y generatrices, más limitándola en su justo perímetro según la curva $a\ d$, tomando las distancias $v\ a$, $2'''\ 2''$, $3'''\ 3''$, cuyas distancias son las excedentes y que antes hemos prolongado auxiliarmente para que nos dieran la línea auxiliar mentada en $v\ d$.

Por los puntos a, b y los e, d haremos pasar ahora dos curvas $a\ b$, $e\ d$ valiéndonos como siempre de cerchas, y averiguando enseguida las $\alpha\ \beta'$, $\gamma\ \delta$ con el auxilio de sus proyecciones $\beta'\ \alpha''$, $\gamma'\ \delta''$ sobre el plano de la base superior igual como hemos hecho anteriormente con la $\beta'\ c'$, vendremos á obtener la $\alpha\ \beta'$, $\gamma\ \delta$, las cuales junto con las dos primeras que hemos mentado servirán para el trazado de las juntas transversales también desarrollables y que trazaremos del mismo modo por puntos de marca y generatrices comprobando todas estas cuatro juntas con el auxilio de los desarrollos correspondientes que se habrán de deducir á este efecto

El extrados y el intrados elípticos no hay para que repetir que en su generación se emplearán cerchas de distintas dimensiones aplicando los procedimientos de los elipsoides anteriores.

Colocación y retoque en las bóvedas elípticas

516. Cuando la bóveda Elíptica esté aparejada por lechos planos inclinados al horizonte conforme hemos visto en la primera solución, entonces para la colocación gradual de las hiladas de la bóveda, se emplean una serie de cimbras ó cuchillos cortados según los varios paralelos verticales de la superficie, siendo por lo tanto de forma circular y de radios distintos uno de otro. Estas formas asentadas al nivel de la

parte superior del muro que recibe el arranque de la bóveda, están enlazadas por una serie de maderos como correas, que que en su conjunto constituyen el esqueleto del intrados, dando apoyo debido á las hiladas á medida que van colocándose por su orden de situación. La superficie superior que constituya el conjunto del armazón de madera, ha de coincidir perfectamente con la inferior elíptica del intrados de la bóveda, para que en las colocaciones parciales cada dovela tenga la verdadera posición que le corresponda.

Al objeto de cumplir este importante requisito, se puede cortar un gran cerchón cóncavo á lo largo y afectando la forma de una sección meridiana, disponiéndola sobre la cubierta de madera y de modo de imprimir un movimiento de revolución á fin de que vaya coincidiendo en todas las posiciones del giro la concavidad de la cercha con la convexidad del armazón de madera.

Cuando la línea meridiana fuese muy considerable, sería en extremo engorroso el movimiento de la misma y entonces puede dividirse y cortarse en partes parciales ensayando cada una de ellas sucesivamente hacia la parte de la superficie que le corresponda. En el concepto que se observara alguna divergencia en la forma general, entonces se podrá efectuar la corrección, ya sea rebajando algún tanto, ó supliendo con algún apéndice en la madera hasta que se vea que aquel error queda subsanado.

El apoyo de los distintos cuchillos puede hacerse en el grueso del muro abriendo unos pequeños mechinales hacia la parte inferior del arranque, ó si se quiere evitar perforaciones de ninguna clase en el muro de apoyo se podrá recurrir á una serie de pies derechos empotrados en el plan terreno y fijos por medio de soleras riostras y tornapuntas que enlacen los unos á los otros viniendo así á formar un conjunto unificado y que pueda sustituir al muro de recinto durante el lapso que media en los trabajos de colocación y retoque.

517. El retoque del intrados se hará con el auxilio de dos sistemas de cerchas, unas cortadas según los distintos paralelos (éstos desiguales y por lo tanto, tantas cerchas como paralelos se escojan) y las otras según la forma meridiana, las cuales siendo iguales una sola cercha bastará; pero todas estas formas auxiliares serán convexas y construídas con gran precisión. Se adaptarán cada una de ellas

en el lugar donde les corresponda de la bóveda, indicándonos el rasgo que se haya de trazar con el cincel para obtener una pequeña acanaladura incisa en la dirección que siga la curva. Estas líneas nos dividirán á la bóveda en su intrados en una serie de cuadriláteros curvilíneos que nos servirán de guía y comparación para descargar la pequeña capa de piedra necesaria para que la que se obtenga en definitiva en pos de ella sea de la continuidad necesaria para darnos el elipsoide.

Mas si se trata de la bóveda elíptica aparejada según líneas de junta horizontales, entonces la construcción de la armadura auxiliar variará algún tanto, dependiendo de la forma especial con que se van formando los anillos que componen las respectivas hiladas de lecho. A este efecto las formas ó cerchones que constituyen la armadura estarán cortadas en su perímetro según las secciones verticales que produzca en la bóveda una serie de planos que pasen por el eje vertical del elipsoide; así empezarán á colocarse las dos de estas secciones que se dirigen en el sentido de los dos planos meridianos, disponiéndose luego entre éstos dos formas principales las que existen intermedios y en el número de ellas que hayamos escogido. Así todos estos cuchillos radiales constituirán en el espacio una serie de nervios sobre los cuales podremos apoyar de uno á otro otra serie de piezas de madera que harán el oficio de correas y que cada línea que constituyan esté dirigida en el sentido de las elipses horizontales.

Para que dichas piezas cumplan perfectamente su misión y suministren resultados exactos, conviene que vengan ensambladas al tope con los correspondientes cuchillos, coincidiendo en un mismo ras exterior, cepillando si luego fuera menester todas las piezas hacia esta parte exterior del endamiage ó armadura auxiliar, hasta que afecte la forma de la superficie elíptica que ha de confundirse con el elipsoide de intrados.

Con esta disposición y después de comprobar con toda precisión la horizontalidad del plano de arranque, se irán colocando sucesivamente y por su orden los anillos que constituyen las hiladas, teniendo mucho cuidado en no colocar ninguna pieza de una hilada como no esté ultimada por entero la hilada anterior, durante esta operación es cuando se ha de examinar si cada una de las dovelas ajusta perfectamente

sus superficies de contacto, así como exista coincidencia de su superficie de intrados con la de la bóveda lateral é inferior, pues de no cumplir con este importante requisito se procede al desaloje de la piedra para llevar á cabo en ellas las rectificaciones que se crean pertinentes.

Con respecto á los trabajos de retoque para ultimar la bóveda, quedan reducidos á trazar en ella una serie de líneas en la dirección de las secciones verticales á que antes nos hemos referido, y otra serie de líneas en sentido de las secciones horizontales, cada una de estas líneas cortadas según cerchas de madera deducidas sus curvaturas de los dibujos de montea habiendo presidido en ellos la mayor precisión, estas piezas colocadas en el sitio que les corresponde en la bóveda nos guiarán para el trazo de las líneas dibujando así en las direcciones de éstas una serie de pequeñas acanaladuras con el cincel, cuya profundidad será la que indique la capa de piedra de que se haya de aligerar el intrados de la bóveda para obtener una verdadera superficie continua.

Téngase ahora bien en cuenta que para la obtención de las líneas de señalamiento que nos indican el pequeño grueso de piedra que hay que extraer para llegar al logro de la superficie continua, será necesario dibujar sobre el plano de arranque que hará aquí oficio de plano de montea, las proyecciones horizontales de todas dichas líneas que en su conjunto forman una red de cuadriláteros ya rectangulares curvilíneos ó ya trapeciales también curvilíneos (según sea el sistema adoptado). Con el auxilio de estas líneas es que se puede comprobar la verdadera posición de cada punto, elevando verticales entre la proyección y la línea del espacio, habiendo forzosamente de ser iguales las separaciones á las que nos indican los datos de la proyección vertical, este requisito auxiliado del regulador de juntas que podemos emplear llevado de uno ú otro modo, según sea la superficie de junta de que se trata, procedimientos de que ya hemos hecho mención en su lugar oportuno, concluirán la rectificación objeto de las presentes operaciones.



CAPITULO DÉCIMOOCTAVO

TROMPAS

518. Las bóvedas llamadas trompas constituyen unas construcciones voladizas con respecto al paramento del muro en donde se construyen, sirviendo para ganar espacio hacia la parte superior permitiéndolo vacuo hacia la inferior. Eran muy á propósito en las esquinas de los edificios, en donde se rovaba ó se hacía desaparecer la esquina para dar más holgura á la vía pública, pero apareciendo á una cierta altura dicha esquina sostenida por esta bóveda especial, y así permitía la instalación de un balcón, mirador ó todo objeto cualquiera; también antiguamente formaba parte de uno de los medios de defensa en las construcciones militares, dígalo sino estos grandes recintos fortificados cuando en el punto que se creía más estratégico se hacía avanzar á partir de cierta altura un gran torreón á guisa de atalaya, ó cuando no perforado de interminables saeteras que permitían la visualidad en todas direcciones y atacar de lleno al enemigo.

Del mismo modo eran empleadas las trompas en las escaleras de palacio y que se les considerara de reconocida importancia, entonces los anchos de los tramos eran muy holgados, pero atención hecha al quizá excesivo vuelo de las mismas se hacía forzoso reforzarlas, sobre todo en las mesetas, entre las cuales estaba comprendido cada tramo, en este caso la meseta por su condición especial de estar situada

en el ángulo, no se prestaba á un buen enlace en el muro, (atención hecha á su excesivo vuelo) y en este caso se acudía en auxilio de la trompa, para que sirviendo de sólido apoyo contrarrestara el asiento y peso de los dos tramos que concurrir debían hacia la meseta.

519. Según *Heidelberg*, el nombre de trompa deriva de ciertas conchas marinas de grandes dimensiones, llamadas *Nácaras*, *Caracol marino* y también *Trompa de Tritón* y cuyas formas en sus variaciones tienen alguna semejanza con los contornos y figuras que afectan la diversidad de las bóvedas de que tratamos.

Frezier opina que el nombre de esta bóveda deriva de la semejanza que ofrece la forma de su intrados, con la que presentaba antiguamente la cámara de las trompetas, trompas ó cuernos de caza.

Con este motivo dice: *C'est, ordinairement une voute de de la figure d'une moitié de cone qui se presente par sa base, come le pavillon d'une trompette ou cor-de-chasse, qui est cette espèce d'entonnoir par où sort le bruit du son..... etc , parce qu'anciennement cet instrumnet, s'appelait Trompe, on a donné le même nom à la voûte qui en imite une partie.*

D' Aviler le da la misma etimología.

520. Las trompas en general se componen de piedras muy voluminosas, pues además de tener en cuenta el gran vuelo que han de salvar es necesario que cuando menos tengan igual dimensión en el empotramiento para compensar con su peso la parte volada, evitando el giro de báscula; de no tener en cuenta esta trivial prescripción al introducir piezas relativamente pequeñas en los despiezos de detalle pueda dar y ha dado origen á dislocaciones perniciosas como de ello dieron notorio ejemplo las trompas llamadas de Montpeller la una y de Amiens la otra.

521. De todos modos resultan ser estas construcciones defectuosas en sumo grado por pugnar por la misma naturaleza de su modo de ser contra las condiciones de la Estática, siendo sus cortes sumamente defectuosos por más que ponga á contribución su ingenio el arquitecto que las construya tal como se ha tenido ocasión de examinar en el gran número de

casos que nos legaron nuestros ilustres antecesores. A pesar de todo constituye su estudio uno de los problemas más importantes de la Estereotomía de la piedra y examinándolo en sus distintos casos será cuando con conocimiento de causa nos haremos cargo de sus dificultades para poder alejarnos de ellas ó cuando menos atenuarlas ó encontrarnos en disposición de saber á que atenernos cuando nos guíe alguna restauración.

522. Son en gran número los casos que pueden dar lugar á la construcción de las trompas existiendo por lo tanto de ellas inmensa variación.

En primer lugar pueden dividirse según la superficie de intrados que las limitan; así las hay Planas, Cónicas, Cilíndricas, Esféricas, Anulares, Envolventes, Alabeadas, Elípticas, Onduladas, etc.

Para con respecto á los muros en donde están construídas y según el oficio que hagan estos muros de apoyo, se conocen las trompas por: En ángulo entrante, en ángulo saliente, en un chaflán, en arranques desiguales, etc.

Y finalmente, según sea el paramento del muro en donde sitúan las trompas serán: En un muro recto, en talud, en talud y esbiage, cilíndrico cóncavo ó convexo; sosteniendo un torreón cilíndrico ó poligonal... etc., etc.

Nos concretaremos á los casos más característicos; ya que al querer pasar en revistas toda esta gran variedad de ejemplos nos apartaría algún tanto del método que nos hemos impuesto en este libro, empezaremos por la más elemental para con relación á la superficie que limita su intrados.

TROMPA PLANA

523. Dos muros verticales se cortan en ángulo recto produciendo así los planos de paramento interior cuyas trazas horizontales son OA, OB (Fig. 237, Lám. 52); la arista vertical proyectada en (O, O_1 O'). En este rincón así formado se desea construir á partir de una cierta altura un cuerpo avanzado proyectado horizontalmente según el cuadrado $OCED$, á cuyo efecto se recurre aquí en este caso á una trompa plana, cuyo plano que forma la superficie de intrados

se encuentra debidamente asegurado en los muros en donde está comprendido.

Tracemos en el plano vertical la línea $C' D'$ que represente la proyección de la diagonal $C D$ paralela á la línea de tierra, cuya dimensión es el mayor ancho de la superficie de intrados; si ahora por su punto medio se traza la vertical $O' E'$ tomando desde este punto superior é inferiormente dicha semi-diagonal tendremos así los puntos O', E' los cuales unidos con los C', D' nos darán el cuadrado $C' O' D' E'$ que será proyección vertical del plano que forma la superficie de intrados y que está proyectada horizontalmente en $C E D O$. Ya desde luego puedénse trazar verticalmente las verticales $C' C''$, $D' D''$, $E' E''$ de las cuales las dos primeras representrán las aristas entrantes producidas por las intersecciones de los planos verticales $A O$ con $C E$, $O B$ con $D E$ y la tercera las intersecciones de los paramentos verticales $C E$ con $D E$.

524 Pasando al despiezo del conjunto, téngase en cuenta que, aquí como en toda clase de problema estereotómico, las piedras, para que tengan el debido sostenimiento, se les da la forma de cuña, así es que para que respondan á dicha disposición y sean las piezas dispuestas en simetría, se podrá dividir en partes iguales las líneas $C' E' D'$ y haciendo pasar planos por cada uno de los puntos de división y la recta O' perpendicular al plano horizontal, (cuya recta será el eje de juntas) estos planos tendrán por trazas verticales las rectas $R a'$, $Y' n'$, $e' m'$,... las cuales terminarán á las distintas alturas de los puntos e', Y', R que nos indiquen las líneas de hilada, y en cuanto hácia la parte inferior aunque obedezcan al eje de juntas proyectado en O' no llegarán hasta este punto, en virtud de que si tal hicieran tendríamos originádos una serie de ángulos de tan reducida abertura que el grueso de las piezas en este sitio bien podría tomarse como á ilusorio, aplastándose las mismas en tal punto. Esta es la razón, porque en este sitio peculiar de cada trompa, se echa mano de una sola pieza conocida con el nombre de trompillón, pues que su forma es hija y depende por lo tanto de la que venga afectando la misma trompa en su paramento. Si, pues, esta en nuestro caso termina en la cara anterior, formando el perímetro $C' E' D'$ claro está entonces que el límite del trompillón en la cara de intrados, podrá ser el ángulo recto $F' H' G'$ paralelo al $C' E' D'$, siendo con esto la base del trompillón

el paralelogramo proyectado según los cuadrados $F H G O$, $F' H' G' O'$.

525 Antes de pasar adelante concibamos una sección á toda la trompa por el plano de perfil que pasa por la diagonal $O E$, cuya sección la tenemos rebatida en la (Fig. 237′) en la que se ha construido el triángulo rectángulo cuyos catetos sean $E^3 \varepsilon = E' O'$, $O'' \varepsilon = O E$, será visible entonces que la hipotenusa $E^3 O''$ será la línea producida en el corte el que se expresa rayado para el debido deslinde. En él, ahora nos podemos hacer cargo fácilmente de que en el punto H'' que corresponde al H' vértice del trompillón, no es posible limitar éste por una línea horizontal, pues el ángulo sería sumamente agudo y no permitiría la carga de las piezas superiores; se termina pues, por dos planos perpendiculares á este plano de intrados, los cuales pasan respectivamente por $F' H'$, $H' G'$ y por la normal $H' H^4$ determinada con el auxilio de la proyectada en $H'' H^3$ en el corte auxiliar de la (Fig. 237′). Con trazar pues ahora desde (H^4, h) las paralelas $(H^4 f', h f)$, $(H^4 g', h g)$ á las $(F' H', F H)$, $(H' G', H G)$, quedarán terminadas estas facetas que evitan el ángulo agudo; concíbase luego dos planos perpendiculares al vertical conducidos por $H^4 f'$, $H^4 g'$ hasta buscar la parte del plano vertical, en donde termine por la parte posterior y tendremos limitada esta pieza, base de todas las demás.

526 Su labrado es fácil, pues la construcción de un prisma auxiliar, (Fig. 237 ^{IV}) verdadero paralepípedo, cuyas bases sean el cuadrado $f' O' g' H^4$ y cuya altura sea la distancia del punto H á la línea de tierra, en la (Fig. 237) contendrá el trompillón bastando no más para obtenerlo cortar una de sus bases por un plano que forma con ella un ángulo igual al complemento del que forma el plano de intrados con el horizontal, limitando luego esta cara con el paralelogramo $f h g O'$ deducido de su verdadera magnitud encontrada en la (Fig. 237″) y teniendo en cuenta en su colación que ha de venir dispuesto de modo á que la coincidencia del vértice O' tenga lugar con el vértice inferior del paralelogramo obtenido al cortar la base del prisma por el plano á que nos hemos referido; al mismo tiempo que los lados inferiores $f O'$, $O' g$ coincidan con los homólogos de dicho paralelogramo. En este estado se trazarán á lo largo de $h g$ y con el auxilio de la

escuadro, dos planos perpendiculares al del paralelogramo $f\ h\ g\ O'$ limitándolos respectivamente en las líneas $h\ h'\ g\ g'$, $h\ h'\ f\ f'$ cuya distancia $h\ h'$ la tenemos en verdadera magnitud en $H''\ H^3$ (Fig. 237'). De modo que con esta serie de planos labrados y los que antes ya habíamos obtenido con el labrado general se llegará á la totalidad del trompillón. Sin embargo, al objeto de consolidar más esta pieza, se puede hacer solidaria, y formando cuerpo con un prisma horizontal que alcance su altura y su ancho máximo tal como muestra la (Fig. 237 IV) en donde se ve que la excedencia del contorno del prisma recto al que constituye el trompillón viene á exibirse según facetas triangulares, tales como son entre ellos la $a\ b\ c$, $e\ m\ d$, las cuales constituyen plantillas para auxiliar la labra, así como las laterales que una de ellas viene expresada por las letras $b\ c\ d\ e\ g\ r$.

527 Es indudable que la disposición que acabamos de indicar favorece de un modo notable las condiciones de resistencia y asiento del trompillón, así como de las dovelas que van á insistir sobre él, máxime cuando disminuyen de espesor á medida que se aproximen en este punto, pero en cambio aumentan las dificultades de labra, así como complica la forma de las plantillas y labrado de las juntas correspondientes.

Ultimado ya el trompillón, es cuando podremos pasar á la determinación de juntas, y al efecto escojamos una de ellas la que se proyecta en $Y'\ N'\ n'$. Su plano corta al paramento $C\text{-}E$ según la recta ($Y'\ N'$, $Y\ N$) luego corta al intrados de la trompa según la recta ($N'\ n'$, $N\ n$) y al llegar al punto n producirá un corte ($n'\ q'$, $n\ q$) á la faceta que evita el ángulo agudo en el trompillón para enseguida apoyarse en éste según la recta q', $q\ q''$ y al limitarse en q' el paramento posterior resultará la sección de la junta con éste, según la recta $q'\ Y'$, $q''\ d''$ y finalmente cerrará su contorno al encontrar al plano de asiento según la recta $d''\ Y$. Así es que toda la plantilla escogida se proyecta horizontalmente según el contorno $d''\ Y\ N\ n\ q\ q''$. Podemos desde luego hacerla girar alrededor del eje de juntas hasta que sea su plano paralelo al horizontal y se coloque en la situación que indica la recta $O'\ Y''$. Un punto cualquiera de ella tal como N describirá un arco de circunferencia paralelo al plano vertical y vendrá á situarse en N^3 rebatiéndose la $N\ n$ según la $N^3\ n^3$ y tal que en este rebatimiento con evidencia ha de pasar por el punto O fijo en

el eje; por la misma razón el punto O', E situado en el eje, teniendo lugar en él la concurrencia de las líneas de junta del paramento, será fijo y por él pasarán aquellas líneas rebatidas, uniendo pues N^3 con E y prolongando la recta por la parte opuesta, nos dará la $N^3\ Y^3$ y éste último punto es aquel en donde viene á situarse en el rebatimiento el punto Y, sigue luego en el rebatimiento la $Y^3\ Y_1^3$ paralela al eje, luego la $Y_1^3\ q^4$ que representa la línea del paramento posterior, en pos de ella la $q''\ q^3$ paralela al eje, línea en la cual la plantilla se apoya en el trompillón finalizando con la $n^3\ q^3$ resultando así toda la plantilla en verdadera magnitud en $n^3\ q^3\ q''\ Y_1^3\ Y^3\ N^3$ y que para mayor brevedad designamos por α.

528. Conviene también poder disponer de la verdadera magnitud de toda la parte plana de superficie de intrados comprendida en el paralelogramo $O'\ D'\ E'\ C'$ la cual se obtiene prontamente en la Fig. 237'' valiéndonos de las dos diagonales del mismo. Una de ellas es la $C^1\ D^1$ que ya está como á dato en la figura general de aparejo pues allí está situada en $C'\ D'$, $C\ D$) en disposición paralela á la línea de tierra y en cuanto á la otra diagonal $E^1\ O^3$ que corta perpendicularmente á la primera, la tenemos también en verdadera magnitud en la Fig. 237' en $E^3\ O''$; construído que sea este paralelogramo se tomará la distancia $O_3\ H_1$ sobre esta última diagonal igual á la recta $O''\ H''$ de la Fig. 237', trazando enseguida desde el punto H_1 las $H_1\ G_1$, $H_1\ F_1$ respectivamente paralelas á las $E_1\ D_1$, $E_1\ C_1$, así el paralelogramo parcial $O^3\ G_1\ H_1\ F_1$ representará el intrados correspondiente al trompillón. Tomando ahora las distancias $C_1\ M_1$, $M_1\ N_1$, $N_1\ P_1$ así como las iguales y pareadas que corresponden á la recta $D_1\ E_1$, cuyas distancias sean iguales á las correspondientes que dividen la cabeza de la trompa, no quedará más que unir cada uno de estos puntos con O^3 y las rectas que así resulten terminadas en las líneas del trompillón indicarán parcialmente las plantillas de la parte de intrados que corresponde á cada una de las dovelas. Estas distancias ó partes á que nos hemos referido se encontrarán rebatiendo el paramento $C\ E$ (Fig. 237) alrededor del eje horizontal que pasa por $C'\ \omega'$, $C\ E$, por tener á la vez necesidad de este rebatimiento y deducir la verdadera magnitud de las plantillas paramentales. En esta operación los puntos M, N, P, E se situarán á las alturas $M\ M''$, $N\ N''$, $P\ P''$, E', E'' iguales respectivamente á las verticales que median desde

M', N', P', E á la horizontal C' ω'; más como todas las juntas concurren en el punto (O', E), y éste en el giro se coloca en γ, claro es que uniendo γ con aquéllos se obtendrán las juntas M'' Q' así como las correspondientes á, N'', P' que limitábamos á las alturas que indican los planos de asiento de la proyección vertical; así pues obtendremos la totalidad de la figura 237''' que contiene en verdadera magnitud las plantillas parciales tal como la Σ que corresponde á la tercera dovela.

En general la clase de labra empleada en las trompas es la que se vale de los baiveles, así es que se parte de la base de la inclinación respectiva que tengan los planos ó superficies que envuelven á la piedra. Por ejemplo, en este caso si empezamos conociendo el ángulo diedro que forma la cara paramental Σ con la subtendente llamada π, este ángulo convenientemente determinado nos puede servir para la respectiva posición de los planos antedichos, y estos limitados en sus plantillas nos darán las caras restantes de la piedra. Encontremos pues este ángulo diedro echando mano de un plano perpendicular á la intersección $C E$, $C' E'$ de las caras Σ y π.

Escojamos un punto, P, P' de ésta en el plano del rebatimiento (Fig. 237''') puesto que en éste, el plano secante que contiene el diedro vendrá representado por su traza P'' θ perpendicular á la expresada intersección $C E^{1}$ (durante esta operación tomamos como á plano horizontal de operaciones el que pasa á la altura de C' D'), la traza horizontal de este plano vendrá representada por la recta θ β perpendicular á la nueva línea de tierra ó sea la charnela $C E$, obsérvese ahora que la traza horizontal del plano de intrados es la recta $C D$ y ésta corta á la otra traza θ β en el punto β, así es que uniendo β con P la recta que así resulte será la intersección del plano secante con el de subtendente; más como la intersección de este mismo plano secante con el deparamento se confunde con la $P C$ se infiere que el ángulo β P θ es la proyección horizontal del que buscamos; rebatiendo pues el plano de este ángulo alrededor de su traza horizontal como charnela, el punto vértice P' vendrá á colocarse en φ, β permanecerá inmóvil y por lo tanto β φ será el rebatimiento de aquella línea y con ella el ángulo β φ M nos dará el ángulo γ para que con él podamos construir un baivel que medirá la inclinación de los planos antedichos Σ y π.

Con estos datos podemos pasar ya á la labra de una piedra, la que esta señalada con la letra Σ por ejemplo: Escójase

al efecto un bloque cuya base tenga las dimensiones aproximadas que indica el contorno aparente de la dovela en el plano vertical y por altura la distancia del punto P que es el más saliente de la misma al plano más posterior de ella y después de haber escogido la cara del bloque que coincide con el lecho de cantera, preparese la cara adyacente destinada al paramento, lábrese en ella una superficie plana lo bastante extensa para colocar la plantilla Σ, hágase luego uso del baivel encontrado en γ colocándolo de modo que su vértice entrante b vaya recorriendo los puntos de la recta n p haciendo de modo que la dirección del baivel a b c se situe siempre perpendicularmente á dicha arista np. Así el brazo a b irá superponiéndose sucesivamente sobre el plano Σ mientras que la dirección del otro brazo b c nos irá indicando la parte de piedra que es necesario descargar para obtener el plano que formará el lugar geométrico de las posiciones de b c. Así iremos avanzando en el desvaste prolongando dicho plano que será el de intrados de la trompa sobre el cual se colocará la plantilla encontrada en π haciendo la coincidencia la línea N_1 P_1 con la n p.

Con esto tendremos que las líneas e p, p m' nos determinan el plano de junta superior, lábrese pues el plano que pase por estas dos rectas y sobre él colóquese la plantilla α haciendo la coincidencia la N^3 Y^3 de la plantilla con la p e de la piedra así como también la N^3 n^3 de la plantilla con la m' p de la piedra, así el patrón tomará la disposición de e' e p m' m'' m'''. Igual operación haremos con la plantilla de junta inferior cuyo plano está dado por las rectas y n, n n'.

Las rectas m''' m'', n''' n'' determinan el plano inferior de la piedra que se apoya en el trompillón (suponiéndolo sin los resaltos que hemos indicado en la Fig. 237 IV, desvástase pues esta parte del bloque hasta obtener el plano que pase por aquellas rectas m'' m''' n''' n'' haciendo luego lo mismo con el m' m'' n'' n'.

Con respecto al plano de asiento superior su plano horizontal está determinado por las rectas d e, e e' que nos servirán de guía para el desvaste, lo propio que las y d, d d' para la junta discontinua vertical.

Ya todas estas superficies colocadas ellas por sí mismas nos habrán dado el contorno de la figura que afecta el paramento posterior el cual cerrará el contorno de la piedra al desvastar un plano que pase por todas las líneas límites.

529. Algunas veces cuando la extensión de la trompa es considerable se procede al trazado de algunas juntas discontinuas al objeto de no tener necesidad de piedras en exceso voluminosas, entonces éstas vienen representadas en la Figura 237 por las rectas *U V*, *X Z* conducidas perpendicularmente á la bisectriz del ángulo que forman las dos líneas de junta continuas que comprenden á aquellas. La dirección entonces de la junta se dispone de modo que tenga una faceta *X x* (Fig, 237^{V}) normal al plano del intrados siguiendo luego la junta en el sentido horizontal. Esta junta es la pieza labrada de la Fig. 237^{V} está representado por la línea quebrada *X x j*.

530. En rigor no es muy conveniente esta clase de despiezos en las trompas en atención al movimiento de báscula que por su misma naturaleza ofrece obligando muchas veces como en la trompa de Maubenga á recurrir en auxilio de medios extraordinarios y extraños al sistema de corte cuales son las áncoras ó tirantes de hierro *P* que retengan á las piezas para hacerlas solidarias en el firme del muro.

531. Si examinamos la figura que expresa la verdadera magnitud del intrados se podrá observar como se forman ángulos excesivamente agudos al cortar las líneas de junta á la línea de paramento C_1 E_1 en los puntos M_1, N_1, P_1. Estos podrían evitarse con los cortes *a b*, *a' b'* dirigidos perpendicularmente á la cara C_1 E_1 lo cual introduciría unas pequeñas facetas planas como indica la Fig. 237^{VII} en *a' b' a" b"* que representa la piedra labrada.

532. También por la misma disposición del dato se originan ángulos excesivamente agudos en el encuentro de los paramentos verticales del muro de recinto *A O* con las juntas discontinuas verticales tal como *s s'* lo cual en parte puede remediarse colocando perpendicularmente al muro una faceta vertical *S" S'''* la cual refuerza algún tanto la piedra en las inmediaciones del punto *S"*. Esta piedra que representa un salmer la tenemos representada en perspectiva en la Figura 237^{VI} pudiendo labrarla con el auxilio de baiveles que midan los ángulos que forman las caras adyacentes entre sí limitándolo en la junta discontinua *U V*, dándole más interiormente otro retallo tal como *m q p n* en donde viene á unirse la se-

gunda parte de la piedra y que juntas constituyen la dovela entera; así la parte inferior viene contrarrestada por este resalta con la parte superior que constituye el salmer formando parte del muro y éste con el peso que comunica al asiento del salmer da garantías suficientes para el citado contrarresto. Así lo expresa Danvilliers al referirse á la célebre trompa plana de Maubenge representada en la (Fig. *T)*, siguiendo en su restauración el relato que del castillo de Maubenge hizo el citado Danvilliers en su obra escrita en el último del pasado siglo y en la cual llega á despertar el interés del lector desplegando gran fantasía al retrotraerse á prácticas y costumbres de pasados tiempos que fueron para no volver.

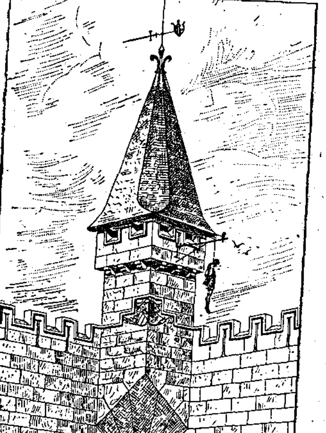


Fig. T. Trompa plana de Maubenge.

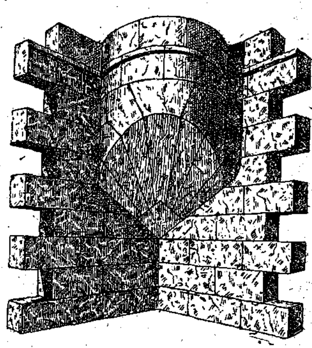


Fig. Ξ Trompa plana de Montpeller.

533. No menos celebrada fue la trompa plana de Montpeller (Fig. Ξ) la cual por ser esta población el primer punto en donde aquella se levantára, hizo que con su nombre se conocieran todas las que se construyeran posteriormente. La trompa está situada en un ángulo entrante, sostiene una torre cilíndrica de planta semicircular, siendo su intrados plano, el cual corta al cilindro de la torre según una elipse que en este caso viene á constituir la línea de cabeza.

TROMPA CONICA RECTA

534. Tal como vamos á expresar esta trompa servirá para sostener un lienzo de pared colocado en forma de chaflán en el encuentro de otros dos muros verticales cuyas trazas horizontales (Lám. 53, Fig. 238) se encuentran en ángulo recto entrante, de vértice O produciéndose una arista vertical proyectada horizontalmente en dicho referido punto. Mas á partir de una cierta altura conviene por un motivo cualquiera construir un muro intermedio cuyo paramento sea el plano vertical que se levanta sobre $A\ B$ sirviendo este muro !achaflanado para sostener el objeto que se desee. Por lo que se infiere que pueden ser varios los objetos á que este muro está destinado el cual siendo voladizo necesita una bóveda especial para su apoyo y ésta viene precisamente indicada con una trompa cuya superficie de intrados sea un cono recto en atención á ser un ángulo recto aquél por el cual se cortan los muros y poder disponer con facilidad el vértice del cono en el vértice del ángulo á la altura que se escoja.

Adoptemos como á plano de proyección horizontal el de arranque de la trompa viniendo este expresado en $L\ T$ escogiendo á la vez el plano de proyección vertical perpendicular á la bisectriz del ángulo $A\ O\ B$; en esta disposición el plano vertical $A\ B$ que contiene la base de la trompa será paralelo al plano de proyección vertical pudiendo dibujar allí desde luego la curva que ha de servir de base á la superficie cónica. Escogeremos para ella una semicircunferencia por ser la forma más regular tal como $A'\ E'\ B'$. Siendo el vértice $(O,\ O')$ y el eje la horizontal $O\ O'$ que se confunde con la bisectriz antes mencionada. Dividamos el arco de la base en un número impar de partes iguales $A'\ C'$, $C'\ D'$, $D'\ E'$,... etc., y por cada uno de estos puntos y el eje $O\ O'$ conduzcamos una serie de planos secantes los cuales serán las juntas de lecho é irán á terminarse en las distintas horizontales $A''\ F$, $H\ G$, $J'\ I'$ que representan los asientos ó hiladas en los muros. Mas si tenemos en cuenta que el paramento de la trompa constituye no más el chaflán que está limitado por las verticales $A'\ A''$, $B'\ B_{''}$ en donde corta á los muros que forman el ángulo ó recinto, podremos observar como algunas de estas juntas será forzoso que terminen más allá de los límites del paramento tal co-

mo sucede con la $O'\ I'$ la cual termina en I' en el muro lateral pues la parte que está comprendida entre $\alpha\ C'$ es asaz reducida para que pueda admitir ningún quebranto por un corte cualquiera, extendiéndola pues hasta I' la damos mayor consistencia por la masa de piedra con que la aumentamos. Así pues mientras unas piedras tal como la $G'\ D'\ E'\ F'$ tendrán un solo paramento, otras en cambio tal como Σ participarán de dos paramentos uno el del chaflán que tendrá la forma en verdadera magnitud en la plantilla $\alpha\ \alpha'\ G\ D'\ C'$ y la otra en el trapecio visto en esbiage en $\alpha\ \alpha'\ H\ I'$. Mas fijándonos en este último paramento es digno de notarse que si el plano vertical de junta $H\ I'$ fuese por sí solo el límite lateral de la piedra nos produciría en el punto I un ángulo tan excesivameate agudo que por precisión había de alterarse con el trabajo y el tiempo; conviene pues también fortificar la piedra en esta inmediación dándole más grueso con el corte vertical $I\ J$ perpendicular al muro lateral $A\ O$, cuyo corte se deja solamente como á faceta después de haber cumplido su misión evitando el ángulo agudo, limitando luego la piedra por el otro plano vertical $J\ J''$ perpendicular al paramento posterior.

535. Procédase luego á la construcción de la pieza reservada para el vértice de la trompa para evitar la concurrencia perniciosa de las juntas; esta pieza que hemos denominado trompillón la limitaremos siempre de modo que su base sea semejante á la de la trompa, y dicho se está con esto que trazando por el punto a un plano vertical $a\ b$ ésta cortará al cono según la semicircunferencia $a'\ m'\ b'$. Obsérvese que siendo ahora el intradós cónico de revolución, si trazamos por el punto de arranque a la normal $a\ f$, y hacemos girar la generatriz de arranque $O\ A$, ésta se llevará consigo la normal $a\ f$ pasando sucesivamente por $q\ r$, $m\ n$,... $b\ g$, describiendo así un segundo cono de revolución normal al primero y que podrá servir de faceta para evitar el ángulo agudo que formaría con el cono la junta del citado trompillón de haberla escogido cilíndrica desde la propia base del mismo, más ya cumplido este requisito no hay ningún inconveniente en tomar la semicircunferencia $(f'\ n'\ g', f\ g)$ como á base de un cilindro recto perpendicular al paramento posterior, así tendremos completamente limitado el trompillón.

536. Con estos antecedentes se presenta ahora expedita la operación para encontrar la verdadera magnitud de una

plantilla, pues si se trata de $I' q'$ ésta cortará al cono de intrados, según la generatriz $C q$, al cono del trompillón, según la generatriz $q r$, al cilindro del trompillón, según la generatriz $r r''$, al paramento posterior según la recta $r'' I''$, al plano de asiento según la recta $I'' 1$, al paramento del muro lateral según la recta $1 A$ y finalmente al plano de paramento de la trompa según la recta $A C$, $\alpha C'$. La verdadera magnitud de esta plantilla se efectúa girándola alrededor del eje $O O'$ hasta que venga rebatida en el plano horizontal, así se ha hecho con su simétrica é igual á ella que pasa por el punto (c, c') habiéndola encontrado en $g' g b B \alpha'' I^{IV} I^{III}$, del propio modo encontramos la $G m'$ ó su simétrica é igual también á ella, y de forma más fácil que la anterior y viene expresada por $g' g b B F F''$.

537 Conviene también para que rija precisión en la labra tener á mano el desarrollo de la superficie cónica recta el cual está expresado en la Fig. 238′ concretándose según sabemos á un sector circular cuyos radios respectivos $O'' A_1$, $O'' a_1$ son respectivamente iguales á los trechos de la generatriz de arranque $O A$, $O a$ verdadero límite en donde se aprovecha el cono de la trompa y en cuanto á la magnitud lineal de las curvas bases ha de ser la magnitud absoluta de las dos bases circulares que forman el tronco de cono, bases que se dividirán en partes iguales y los elementos que así las constituyan se llevarán unos en pos de otros colocados sobre las circunferencias del sector de la Fig. 238′ y á partir de los puntos A_1, a_1. En este desarrollo particularizando la cuestión á la piedra Σ á ésta le corresponde la parte de intrados expresada en φ, bien es verdad que tratándose de un cono recto en que se ha dividido en partes iguales el arco de base, los intrados de todas ellas son completamente iguales.

Labra.—El sistema con que hay que proceder á ella puede ser el de escuadría en atención á que la mayor parte de sus caras son perpendiculares al plano vertical. Empiécese, pues á labrar un prisma cuyas bases sean el contorno aparente de la proyección vertical y por altura la mayor profundidad de la piedra que aquí en este caso es la distancia $1 I''$ pues que la piedra que se escoge es la asignada con Σ. La piedra así representada la tenemos de la Fig. 238″. Colóquese enseguida sobre los lechos superior é inferior las plantillas de junta que antes se han obtenido en verdadera magnitud, orillando su

colocación en las líneas de base posterior $G' n'$, $I' r''$ así la superior vendrá colocada en ψ y la inferior según la forma $I' r'' r' q' C' \alpha I$. Además en el plano horizontal superior que significa el de asiento colóquese la plantilla $K', G' G d' H K$, orillándola en su colocación con la recta $K' G'$, en el plano de asiento inferior se colocará otra plantilla trapecial $J I I' J''$.

Ahora las rectas $d' G$, $G D'$, $\alpha C'$ determinan el plano de paramento, lábrese éste de modo que pase por estas rectas colocando en él la plantilla Σ, y si ahora en el cilindro $Q M m''' q''$ colocamos los puntos m', q' á la distancia que estén del paramento posterior, por los mismos podremos hacer pasar la curva del trompillón por medio de una pequeña cercha que se doblará según la concavidad del cilindro hasta poder dibujar la curva, entonces ella junto con la $C' D'$ servirán de directrices para la labra del cono de intrados el que comprobaremos con el auxilio del desarrollo φ.

Por la parte posterior se limitará la plantilla de este nombre en la pequeña curva $r'' n'$ y con ella y las generatrices $n n'$, $r' r''$ labraremos el cilindro de junta del trompillón, así como el cono de junta normal valiéndonos de las curvas $n r'$, $m' q'$.

Finalmente con las rectas $K d'$, $H 1$, $I \alpha$ labraremos el plano vertical del muro lateral así como las $K H$, $H 1$ nos darán el límite del desvaste para la faceta vertical que evita el ángulo agudo de la junta.

538. Si por la mucha profundidad de la trompa, resultasen las piedras muy voluminosas, entonces procedería adoptar juntas discontinuas que dividieran á las piezas en partes más pequeñas y entonces podrían adoptarse disposiciones análogas á la Fig. 238‴. La línea de junta sería $x z$ sección paralela al paramento, recurriendo luego á la faceta cónica normal $x z v y$ y luego al cilindro, $v y n m$, comprendiéndose fácilmente la labra del conjunto por lo manifestado en la dovela anterior.

539. La trompa cónica recta en un ángulo entrante no siempre terminaba con un solo paramento, casos había que estaba destinado á soportar un cuerpo poligonal, y en este caso los planos que limitaban á éste por la parte anterior, obligaban á que la cara de la trompa tuviera igual termina-

ción para el buen enlace y fiel continuación del cuerpo que estaba destinada á sostener, entonces la curva de cabeza estaba compuesta de varias líneas producidas por la intersección del cono de intrados con los planos que constituían las caras del paramento. Ejemplo notable de este caso lo ofrece una trompa establecida en las ex-murallas de Barcelona y que muestra la adjunta Fig. M., trompa de bastante vuelo y que aún recordamos, á pesar de los años transcurridos desde su demolición.

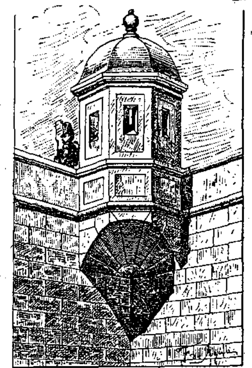


Fig. M.

Trompa cónica en un ángulo entrante, en las exmurallas de Barcelona.

540 Véase también como á ejemplo especial de trompas de esta clase el que en el párrafo 97 hicimos mención al hablar de un ángulo de la fachada del convento de Santo Domingo de Salamanca, y aunque dicha bóveda en su intrados lleva ondulaciones, no deja de obedecer sin embargo á las formas generales de un cono recto.

541. También en muchos casos, esta clase de trompas se han empleado en los ángulos de un recinto cuadrado, Lámina 56, Fig. 248, para pasar de la forma cuadrada á otra octogonal como de ello son buen testimonio los cruceros en las iglesias, pues al encontrarse las dos naves y formar el cuadrado antedicho, éste va á servir de base para la cúpula poligonal destinada á cobijarlo, siendo muchos los ejemplos que en nuestra España podríamos citar, limitándonos tan sólo á recordar por la supremacia de antigüedad el que ofrece la iglesia del monasterio de Camprodón en nuestra Cataluña, así como la de San Miguel de Pavía en Italia, en donde los trompillones están constituidos por nichos esféricos.

TROMPA CÓNICA EN ESBIAGE EN UN MURO EN TALUD

542. (Lám. 54) (Fig. 241). *L T*, *j'' i* son dos rectas horizontales y paralelas que indican los límites de un plano inclinado en la proyección horizontal, *L T* se confunde con la misma línea de tierra al paso que la *j'' i* está á una altura que indica el punto *j''* relacionado con la línea de tierra auxiliar *L' T'*. Téngase pues en cuenta que *L' T'* representa un plano de proyección vertical auxiliar, perpendicular al talud del muro puesto que así el ángulo que éste forma con el plano horizontal lo tendremos en verdadera magnitud según la medida que nos indican las rectas *j'' A'*, *L'* puesto que *j'' A* es la traza del talud sobre el plano vertical auxiliar.

En cuanto al grueso de todo el muro, alcanza hasta la recta *γ q*; de modo que todo el espacio comprendido entre las rectas paralelas *j'' i*, *γ q* representará según esto, visto por la parte superior la cresta del muro.

Ahora bien, en el interior del mismo y alegando un motivo cualquiera se hace forzoso practicar un espacio de forma triangular tal como el limitado por *A V C*, y como los lados laterales *A V*, *V C* no forman ángulos iguales con la traza del talud de aquí es que bajo este punto de vista el triángulo será escaleno, y como va á servir de base para las construcciones de una trompa cónica y el eje de ésta no será perpendicular á la mencionada traza horizontal *L T* de aquí es que dicha trompa se designará en esbiage.

Sin embargo, para facilitar las construcciones del aparejo será conveniente que construyamos el cono de modo que sea recto aunque después venga cortado en esbiage por el citado muro. A este efecto tomemos la generatriz menor *V A* y apliquémosla en *V B* sobre la generatiz mayor, es evidente ahora que siendo isósceles el triángulo *A V B* que asi resulta, si concebimos un plano vertical que se levante sobre el lado *A B* y en él imaginamos con este diámetro una semicircunferencia, no hay duda que haciendo servir á esta curva como á directriz de un cono cuyo vértice sea el punto *V*, este cono será recto y cumplirá con las condiciones exigidas puesto que podremos prolongarlo hasta que lo limite el corte del plano en talud.

Rebatamos pues esta circunferencia en el plano horizontal, tomemos puntos sobre ella (y que para abreviar serán los que la dividan en un número impar de partes, puntos por los cuales haremos pasar después los planos de junta), estos puntos tales como por ejemplo *D'*, *E'* se colocarán en su verdadera posición al levantar el plano vertical de base proyentándose horizontalmente en *E*, *D*, pero que proyectados en el plano vertical *L' T'* se situarán en *E'' D''* alturas tales de la línea *L' T'* que serán respectivameute iguales á *E E'*, *D D'*.

De modo que repitiendo esta operación para los demás puntos de la curva y uniéndolos llegaremos á obtener la clipse $A' F'' G'' E'' D'' B'$ como proyección de la base circular en el nuevo plano vertical, y es que hemos procedido así teniendo en cuenta que en este plano se proyectaba precisamente todo el talud en su traza vertical $A' j''$ y eso permite proyectando antes el punto V en V' uniéndolo con todos los puntos de la elipse referida, y prolongar las generatrices que así resulten hasta tanto que vengan á ser cortadas por la simple recta $A' j''$ pues entonces los puntos obtenidos serán los de la seccion pedida que podemos proyectar inmediatamente abajo.

La $V' D''$ prolongada nos cortará el talud según el punto d'' y éste se proyectará horizontalmenee en d sobre la prolongación de la generatriz que une el punto V con el D, esta operación la repetiremos para todos los demás puntos, teniendo empero en cuenta que en especial el punto E pertenece á la vez á la base circular y á la contenida en el talud y por lo tanto no hay lugar aquí á prolongar la generatriz.

Únanse hora todos los puntos encontrados en la proyección horizontal y se tendrá la curva de paramento $A H E d C$.

Más como este arco está en proyección conviene obtenerlo en verdadera magnitud que así, en esta disposición será utilizable para que nos suministre muy luego los patrones de las cabezas de las piedras. Un simple rebatimiento sobre el plano vertical, alrededor de la charnela L T, nos bastará. Desde luego los puntos A, C son inamovibles mientras que todo otro punto cualquiera tal como E se colocará perpendicularmente á la charnela en la dirección $E e'$, á la mínima distancia que existe á la propia charnela. cual separación es la recta $A' E''=A' e'''$ la cual se trasladará en seguida en e'; esta operación repetida para los demás puntos nos dará la curva $A H'' g$ e d C. En cuanto á la recta $j''' j'$; nos demuestra el rebatimiento de la línea de cresta.

Para precisar esta curva podríamos proponernos la rectificación de sus debidos elementos valiéndonos de las tangentes, operación de que ya nos hemos ocupado en el número 422 al hablar de las bóvedas cónicas por lo que para el particular nos referiremos á lo alli mentado.

Pasemos ya al aparejo de la bóveda, más antes conviene dejar completamente limitada la pieza cuya colocación exige la particularidad del vértice del cono. Esto es, el trompillón, limítese en primer lugar por un plano A_1 j_1 paralelo al talud

$A' j''$ (así su forma obedecerá mejor á la correspondiente del paramento, no siendo tan desagradable á la vista el aparejo) este plano nos cortará el cono según una curva elíptica, cuyos puntos tal como por ejemplo d_1 se proyectará horizontalmente en m sobre la generatriz correspondiente, y después de haber repetido esta operación para los demás puntos, éstos se reunirán dándonos la curva a_1 δ k t m s que va á servir ahora de base al trompillón tomándola como á directriz del movimiento de una recta que resbalando por ella se conserve normal á la superficie del cono, y dicho se está que la superficie que así engendremos será alabeada é inclinada al horizonte por lo que será conveniente aprovechar de ella una pequeña faceta, la indispensable para el contacto después de haber cumplido su misión de evitar los ángulos agudos.

Hagamos esta operación concretándonos tan sólo á un punto pues que quedará todo concretado á repetirlo para todos los restantes, el punto k. Es evidente que esta normal estará contenida en el plano meridiano $O V E$; rebatámoslo en el plano horizontal haciendo servir de charnela el eje del cono. La generatriz vendrá y se confundirá con la $V B$ de arranque, el punto k vendrá en k' y entonces trazando por él, á la $V B$, la perpendicular k' l', ésta prolongada cortará á la charnela en el punto r, el cual permanecerá fijo cuando se coloque el plano á su primitiva posición; así pues el punto k' retornará en k y la unión de r con k nos dará la recta que prolongada será la normal indefinida. Definámosla ahora escogiendo al efecto un nuevo plano de proyección vertical siendo el más apropósito en este caso el que contiene la base circular del cono, porque en ella, por serle perpendiculares los planos meridianos, que son los de junta, tendremos la ventaja que las normales referidas se proyentarán confundidas con las mismas trazas cuyas no serán más.en la referencia que los radios del círculo de base.

Así pues en el plano de la circunferencia rebatida en A G B la generatriz $O E$ del cono viene proyectada en O E' y considerando que la recta $\alpha\text{-}\varphi$ representa la traza vertical de un plano horizontal que limita superiormente el trompillón resultaría que el punto e_1 en donde corta el plano horizontal á la generatriz consabida, será el que buscamos límite de la misma, el cual podremos trasladar enseguida en l en la proyección horizontal de dicha normal de modo que así haciendo para los demás puntos y sus normales llegaremos á la obten-

ción de la superficie normal que pasa por la curva $a_1\,\delta\,k\,t\,m\,s$ y limitada en la línea $\alpha'\,l\,n$. Ahora falta limitar el trompillón lateralmente y lo haremos por los planos verticales $\gamma\,\beta'$ p θ los cuales para evitar complicaciones los escogeremos verticales coincidiendo en su dirección con la que llevan las juntas de la piedra, haciendo que caiga sobre ella una de las divisiones de los ramales de dichas juntas y eso lo podremos llevar á cabo fácilmente auxiliándonos el plano de la base circular del cono, pues allí quedará proyectado el prisma que encierra la piedra del trompillón en condiciones las más ventajosas por proyectársenos de perfil los planos laterales á que nos referimos, quedando expresados por $\beta\,\alpha$, $\varphi'\,\varphi$, de modo que todo el prisma que contiene la piedra viene á proyectarse en conjunto según el rectángulo $\varphi'\,\varphi\,\alpha\,\beta$. Ahora es cuando procede encontrar la intersección de los planos lateterales con el resto de la superficie normal así por ejemplo la normal que pasa por el punto δ corta en δ' al plano $\beta'\,\gamma$, así es que si rebatimos el plano vertical $\gamma\,\beta'$ en el plano horizontal alrededor de su traza como charnela; el punto β' permanecerá inmóvil, el punto α' vendrá en α'' á la altura máxima $\beta\,\alpha$ del prisma y un punto intermedio tal como ($\delta'\,\delta''$) se rebatirá en δ''' á la altura $\delta'\,\delta'''=\beta\,\delta''$ siendo así la curva $\alpha''\,\delta'''\,\beta'$ la curva producida por la sección del plano de que se trata con la superficie normal. Luego la horizontal $\gamma\,\alpha'$ se rebatirá en $\gamma'\,\alpha''$) y finalmente cerrará la figura la vertical $\gamma\,\gamma'$. La plantilla lateral del trompillón vendrá pues limitada por el cuadrilátero mixtilíneo $\beta'\,\alpha''\,\gamma'\,\gamma$.

Con igual procedimiento obtendríamos la otra plantilla lateral en el otro cuadrilátero, también mixtilíneo $\theta\,n'\,p'\,p$; es evidente que el plano vertical que se extiende de γ á p será el límite de la pieza del trompillón por la parte posterior.

543. Ahora es cuando podemos disponer el despiezo por planos de junta que pasen por el eje del cono y por los puntos en que se habrá dividido en un número impar de partes, el arco de cabeza rebatido en $A\,g\,d'\,C$. Consideremos ahora una de estas partes tal como la $e'\,d'$, que lo que hagamos con ella se podrá repetir para las demás. Los planos de junta serán representados por las rectas $e'\,j'$, $d'\,h'$ las que evidentamente han de pasar por el punto ω intersección del eje con dicho plano de paramento, de modo que terminando las dovelas como es costumbre, esto es, con planos de asiento horizontales

y juntas alternadas verticales, tendremos á nuestra disposición el pentágono $e'\,d'\,h'\,i'\,j'$ como cabeza de la piedra, y por lo tanto plantilla de paramento que para abreviar la llamaremos Ω. Ahora es fácil el análisis de una junta cualquiera por ejemplo la $e'\,j'$ Empieza cortando al paramento según la recta $E\,j'$, corta luego al cono según la generatriz $E\,k$ á la superficie normal faceta de junta según el trecho de normal $k\,l$, al plano de asiento horizontal del trompillón según la horizontal $l\,\mu$, al plano vertical posterior según la recta $\mu\,\tau$ y finalmente al plano de asiento superior del muro según la recta $\tau\,j$ la cual cierra la plantilla en la forma $j\,E\,k\,l\,\mu\,\tau$.

544 Si quisiéramos encontrar esta plantilla en verdadera magnitud la giraríamos alrededor del eje del cono hasta rebatirse en el plano horizontal, en este movimiento el punto E vendrá en B mientras que la generatriz $k\,E$ se confundirá con la de arranque $k'\,B$, la normal del punto k, vendrá en la $k'\,l'$ obtenida por la unión de k' con γ porque este está fijo en el giro, así es que el punto l se situará perpendicularmente á la charnela en l', la horizontal $l\,\mu$ se colocará paralelamente á sí misma en $l'\,\mu'$, la línea de junta $E\,j$ vendrá en $B\,j^{IV}$ con solo unir B con el punto fijo ω y trasladando enseguida en la recta que resulte j en j^{IV} finalmente la $j\,\tau$ se rebatirá paralela á sí misma en $j^{IV}\,\tau'$ cerrando definitivamente el rebatimiento de la plantilla la recta que resulta de unir μ' con τ', viniendo así expresada en el contorno $B\,j^{IV}\,\tau'\,\mu'\,l'\,k'\,B$ y que para mayor brevedad conoceremos por Δ.

545 **Labra.**—Trompillón. Escójase un prisma (Fig. 241') cuyas bases sean el menor paralelógramo que pueda circunscribirse á la proyección horizontal de dicho trompillón y por altura la máxima de esta pieza, cuya medida $\alpha\,\beta$ está representada en el plano de proyección vertical, este prisma está dibujado en la Fig. 241' en $\lambda\,\rho\,\rho'\,\tau'\,\tau\,\gamma\,\gamma'\,\lambda'$. Sobre la cara anterior se cortará un plano inclinado $\lambda\,\rho\,v\,v'$ cuyo ángulo de inclinación $v\,\rho\,\tau'$ lo tenemos en la (Fig. 241) en la proyección vertical auxiliar expresado por $j_1\,A_1\,V'$, es el plano que contiene la base del trompillón. Sobre él colocaremos pues la curva elíptica $s\,k\,a_1$ deducida de la figura en proyecciones, pues para obtenerla allí quedará la operación reducida á hacer girar el plano que la contiene alrededor de su traza horizontal $A_1\,s$ hasta colocarlo en el plano de proyección del mismo nombre,

construcción que hemos omitido por ser sumamente fácil. En la cara inferior del prisma capaz, colóquese luego la plantilla $\theta\, s\, v\, a_1\, \beta\, \tau'\, \gamma\, \theta$; en ella tendremos el ángulo $s\, v\, a_1$ que indica las generatrices del arranque del trompillón, siendo v el vértice del cono, pudiéndose éste formar desde luego desvastando la piedra interior hasta que el desgaje del material permita el movimiento contínuo de una regla que pasando constantemente por el vértice v vaya resbalando por todos los puntos $s\, k\, a_1$.

Colóquense luego en los planos laterales, las plantillas, Σ, Σ', al mismo tiempo que en la cara superior se coloca la $\gamma'\, \alpha''\, l\, n'\, \tau$. Ahora las tres curvas $\theta\, \delta\, \alpha''$, $\alpha''\, l\, n'\, n'$, $n'\, \psi\, \beta$ serán directrices de la superficie normal, las cuales junto con la otra directriz elíptica $s\, k\, a_1$ permitirán ya el labrado de dicha superficie ó faceta alabeada que evita ángulos agudos. A este efecto dispónganse en estas curvas una serie de puntos de marca, pareados 1 con 1′, 2 con 2′, 3 con 3′, k con 1, a_1 con β, s con θ, etc., y procediendo al desvaste del material superior hasta tanto que la regla generadora coincidiendo con todas estas generatrices nos determina el conjunto de la superficie normal.

546 Labra de la dovela Ω.—Se procede á este labrado por el sistema de baiveles, atención hecha del gran número de caras que contiene y de la irregularidad que presenta en su contorno. Pero para esto conviene sustituir momentaneamente la superficie cónica de intrados de la dovela por el plano que la subtende, encontrando luego los ángulos diedros que se forman en el triedro de vértice d formado por los tres planos, el subtendente, el de paramento y el de la junta. Más como de efectuar esta operación las construcciones son exactamente idénticas á las que se efectuaron cuando en el párrafo 423 se trató de una bóved acónica de iguales condiciones que la actual, las omitiremos en este lugar puesto que repetiríamos al pie de la letra lo que allí se expuso refiriéndonos en este concepto á la figura que allí representa el conjunto de estas operaciones.

Además para facilitar la labra del intrados es conveniente encontrar la intersección del plano subtendente de la dovela con la prolongación de la faceta normal del trompillón. Tengamos primero en cuenta esta cara subtendente, construyendo en la (Fig. 241‴) según $k^V\; m'\; d^V\; e^V$, la cual se ob-

tendrá por medio del triángulo $v'\, e^V\, d^V$, cuyos lados mayores son las dos generatrices de la bóveda, mientras que la base $e^V\; d^V$ es la cuerda que une los puntos $e'\, d'$ del paramento, formado este triángulo puede encontrarse fácilmente en su plano la curva $k^V\, z^{IV}\, m'$ intersección de la junta alabeada arriba dicha con dicho plano subtendente.

Para llevar á cabo esta operación fijémonos en la (figura 241) en el plano de la base circular del cono. Allí el plano subtendente viene representado por $E'\, D'\, O$, claro es que si empleamos un plano secante tal como $O\, y$ que pase por el eje del cono, es evidente que dicho plano cortará al subtendente según una recta tal como $O\, x$, y á la junta normal según una generatriz; estas dos rectas se encontrarán y el punto de encuentro será el que buscamos. Para que quede pues determinado de una manera conveniente, rebatamos el plano sobre el horizontal. En el giro, el punto x viene en x' siendo $x'\, V$ el corte del plano secante con la dovela subtendente. Pero por otra parte el punto y se coloca en A, siendo con esto $A\, V$ el corte con la superficie cónica, pero como el punto t donde esta generatriz encuentra á la curva del trompillón, viene á rebatirse en t se inferirá, de aquí que la $t'\, v$ perpendicular á $A\, V$ será la normal que contiene el plano secante, y por lo tanto prolongándola hasta que corte en z á la recta $x'\; V$, el punto z será definitivamente el que buscamos, y ahora no habrá más que tomar la distancia $V\, z$ y colocarla en $V''\, z^V$ en la (Fig. 241‴). Así la curva $k^V\; z^{IV}\; m'$ es la curva que buscábamos.

Así con todos estos datos podemos empezar el labrado de la piedra (Fig. 241′), escogiendo un bloque de las dimensiones aproximadas y con creces deducidas de los dos planos de proyección y en él trabájese un plano que representara el subtendente de que antes hemos hecho mención, colocando en él la plantilla de la (*Fig.* 241″) viniendo así á dibujarse en $e\, d\, m$ $4, 3, 2, 1, l\, k\, e$, partiendo ahora de la arista $e\, d$ colóquese un baivel tal como viene expresado en la figura, de modo que su plano sea perpendicular en todas sus posiciones á la recta $e\, d$ recorriendo todos los puntos de dicha recta. Obrando así, mientras que una de las ramas coincidirá con el plano subtendente, la otra irá describiendo un plano; será el de paramento (puesto que la medida del baivel ha sido evaluada según el ángulo diedro que forman estos dos planos y que á su tiempo se habrá encontrado al resolver el tiedro). Ya labra-

do este plano colóquese en el la plantilla Ω del paramento, haciendo las coincidencias, partiendo de la recta *e d* intersección de dichos dos planos.

Ahora las rectas *d m*, *d h* determinan el plano de junta, desvástese pues la piedra excedente hasta obtenerlo, colocando en él la plantilla △. Hágase lo mismo con la junta, superior que pasa por *j e*, *e k*.

Colocadas estas dos juntas las rectas *n p*, *l* μ nos indican el plano de asiento del trompillón, lábrese pues este plano y dispóngase en él la plantilla *n l* μ *p*. La piedra está en disposición ya de labrar la faceta alabeada normal al intrados puesto que las curvas *l n*, *k z m* son directrices de la misma, la primera definitiva la segunda auxiliar. Puntos de marca pareados convenientemente dispuestos dos á dos en estas curvas y deducidos de las operaciones que antes habíamos practicado en las proyecciones del aparejo serán objeto para que apoyemos una regla en ellos á medida que vayamos desvastando hasta llegar á obtener la superficie alabeada *k z m n l*, restando solamente terminarla en su justo límite colocando en ella la curva *k* ε *m*, pudiendo efectuar estas operaciones tomando las respectivas distancias tal como *z* ε entre estas dos curvas tomadas estas distancias sobre las generatrices deducidas en los respectivos rebatimientos.

Ya la curva *k* ε *m* considerada como directriz del cono de intrados auxiliada de la curva de paramento *e d*, podrán servir, desvastando el plano subtendente para la formación de la definitiva superficie cónica trazada con el auxilio de generatrices y puntos de marca, deducidos en los rebatimientos de las mencionadas curvas.

El resto de la labra son todas superficies planas que la simple inspección de las piedras vista en perspectiva da idea de como pueden obtenerse.

547. La trompa cónica en esbiage establecida en el interior de un muro en talud, se distingue de las demás en que no sostiene ninguna construcción voladiza, empleándose tan solo en el caso de que se quiera aprovechar un determinado espacio en el interior del muro en donde se construye, sirviendo entonces para sostener la parte superior del muro en su continuación hasta la cresta.

Un caso notable de trompa de esta naturaleza es la que estaba dispuesta en uno de los muros (Fig. Θ) de las fortificaciones de la exciudadela de Barcelona.

548. Alejandro Kirchner nos habla también de un ejemplar muy digno de mención y que en su tiempo era muy admirado por los inteligentes. Fué su autor Filiberto De l'Orme y se ostentaba en París en una casa de la calle de la *Savaterie*.

Por desgracia Kirchner no es lo suficiente explícito en esta cuestión para que se pueda de una manera veraz traducir en línea sus conceptos.

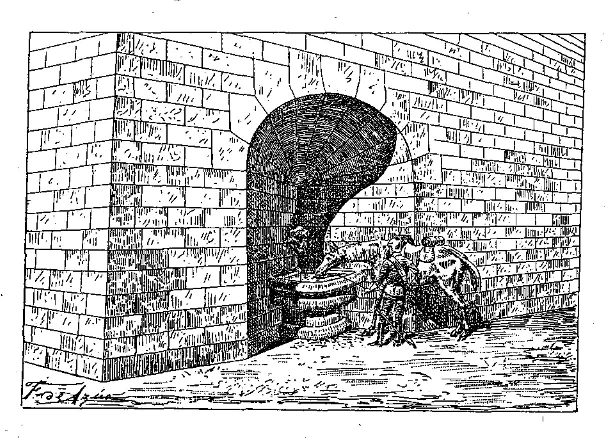


Fig. Θ

549. Casos determinados se han presentado en donde los conos que formaban el intrados de la trompa, tenían por bases arcos de circunferencia, situados en planos horizontales, en lugar de ser verticales ó inclinados al horizonte conforme acabamos de ver en los ejemplos anteriores. La (Fig. 244, Lámina 55) nos demuestra un ejemplo de la trompa que nos referimos, el cual tiene también fácil aplicación en el crucero de las iglesias para pasar de la forma cuadrada á la circular, dando con esto pie á la construcción de un cilindro recto para sustentar directamente una bóveda esférica.

TROMPA CONICA RECTA

en una esquina formada por el encuentro de dos muros rectos

550. (Lám. 53, Fig. 239). Se tiene el ángulo *Y' C Y* que forman las trazas horizontales de dos planos verticales que

al cortarse lo hacen según la vertical proyectada horizontalmente en el punto C. Representan los referidos planos los paramentos de dos muros rectos.

Conviene ahora por un motivo especial practicar un hueco en la masa de estos muros en la extensión que indica el cuadrado $A\ C\ B\ x$, cubriéndolo al efecto por medio de una trompa que sirva á la vez de sostén para la construcción superior, en la cual aparece la esquina como cercenada inferiormente.

La disposición del hueco en forma de cuadrado facilita ya de momento la elección de la superficie que se adopte para el intrados de la trompa pues que el punto x se presta para que en él situe el vértice, mientras que la diagonal $A\ B$ permite considerarla como traza horizontal de un plano vertical en donde coloquemos ya inmediatamente la semicircunferencia $A'\ M'\ B'$ considerándola como á base ó directriz del cono. Según esto solo restará prolongar la superficie cónica de que se trata hasta que venga á ser cortada por los planos $A\ C$, $B\ C$ quedando así limitada.

551. Para esto y teniendo en cuenta efectos ulteriores dividamos la semicircunferencia de base en un número impar de partes iguales, uniendo los puntos que así resulten con el vértice x' estas serán las generatrices del cono que á la vez adoptaremos como á líneas de junta. Una de ellas por ejemplo la $x\,f$ cortará al plano anterior según el punto F el cual trasladado en la proyección vertical de la propia generatriz nos facilitará el punto F'; más como podría suceder que alguna de las proyectantes encontrase en ángulo muy agudo á la proyección vertical de la generatriz correspondiente, podríamos evitar esta contrariedad rebatiendo el plano proyectante de la generatriz sobre el plano horizontal, cuyo método es forzoso que se aplique particularmente á la generatriz $x\ C$, $x'\ C'$ por estar situada en un plano de perfil que impide emplear el método general. Al rebatirse su plano proyectante, el punto $M\ M'$ va á colocarse en A sobre la generatriz de arranque, lo mismo que el punto C se coloca sobre la propia recta pero en el punto C'', resultando según esto que $C\ C''$ es la altura á que se encuentra el punto C' intersección de la generatriz de que se trata con la vertical que se levanta en el punto C y que constituye según hemos dicho la esquina.

552. Estas operaciones repetidas para los demás puntos nos llegarán á dar unidos convenientemente la curva $A'\ D'\ F'\ C'$, la cual constituye una rama de parábola en donde limita la mitad del cono en el paramento el cual quedaría completado con la otra mitad encontrando la rama simétrica.

Para el debido despiezo imaginemos una serie de planos que pasen por el eje de juntas $C\ x$ y por cada uno de los puntos en que anteriormente hemos dividido la base, éstos siendo perpendiculares al plano vertical de proyección, los terminaremos á las alturas de los puntos H, G... etc., por los que pasan las hiladas del muro, mientras que por el extremo opuesto y análogamente á lo dicho en las demás trompas las limitaremos en la pieza del trompillón, el cual en consonancia con la forma de la base del cono terminará en su intrados con el paralelo $a\,b$, $a'\,n'\,b'$ (sirviendo enseguida esta línea de directriz de otro cono recto también de revolución, proyectado horizontalmente en el trapecio $a\,b\,q\,g$, cual cono estará constituido por una estrecha faceta cuya misión es solamente evitar el ángulo agudo que se formaría de adoptar otra superficie cualquiera). Según esto, trácese en el plano de arranque y por el punto a la perpendicular $a\,g$ á la generatriz de intrados $A\,x$, esta recta $a\,g$, girará junto con la generatriz $A\,x$ cuando esta última engendre el intrados, entonces será cuando dicha perpendicular $a\,g$ describa en su límite el cono de faceta normal proyectado horizontalmente en el trapecio $g\ a\ b\ q$ y en proyección vertical en el anillo comprendido entre las dos semicircunferencias $a'\,n'\,b'$, $g'\,p'\,q'$; finalmente esta última semicircunferencia $g'\,p'\,q'$ servirá ahora de directriz de un cilindro recto $g\,q\,g'\,q'$ perpendicular al plano vertical.

Definido así el trompillón puede hacerse ya el analisis de juntas. Así si escogemos la $n'\,H$, veremos que corta al intrados cónico según la generatriz $F\,n$, al cono de faceta normal según la pequeña generatriz $n\ p$, al cilindro del trompillón según la generatriz $p\ p''$, al paramento posterior según la recta $p''\,H''$, al plano de asiento horizontal según la $H''\ H$ y finalmente cierra el contorno de la plantilla el corte $H\ F$ con el paramento anterior quedando así limitada la forma de la junta según la figura $H''\ H\ F\ n\ p\ p''$. La verdadera magnitud de la misma se obtendrá haciendo girar su plano alrededor de la traza horizontal $x\ C$ obteniéndola después de rebatida en $b\ F^{IV}\ H^{IV}\ H^{V}\ q'\ q\ b$ que para mayor brevedad la designaremos por Σ.

553. Conviene obtener en verdadera magnitud las caras de cabeza de cada una de las dovelas, y esto lo conseguiremos haciendo girar uno de los planos de paramento, tal como $C\ Y'$ alrededor del eje vertical ω hasta colocarla en $\omega\ N$ para que sea paralela al plano vertical, en este movimiento el punto C vendrá en C_1 y los demás puntos del arco de cabeza describiendo también arcos horizontales se irán colocando sucesivamente en $A_1\ D_1\ F_1$ por los cuales pasará la curva parabólica que constituye el arco de cabeza lateral, mas como todos los planos de junta pasan por el eje $x\ C$ y éste corta á los dos planos de paramento, en la traza horizontal C de la vertical intersección de aquéllos, resulta que el punto C trasladado en C''' será tal que por él pasarán las líneas de junta $F_1\ H_1$, $E_1\ G_1$... etc., cuales líneas de junta terminarán á la altura de las horizontales con que terminan los planos de asiento, limitándose definitivamente las dovelas en las verticales $J_1\ H_1$, $I_1\ H_1$... etc., y así tendremos dispuestas las plantillas de paramento, tal como se indica una de ellas en $I_1\ G_1\ D_1\ F_1\ H_1$, y que para facilitar la lectura llamaremos Δ.

Aquí como en la mayor parte de las trompas, militando los mismos motivos que ya tantas veces hemos expresado, puede adoptarse el sistema de baiveles, por lo cual hemos de basar el trabajo de la labra valiéndonos de alguno de los ángulos diedros que forman las caras contiguas, así es que si queremos partir del baivel que mida el ángulo del paramento con el intrados, nos veremos precisados á sustituir momentáneamente el cono de la trompa por una serie de planos subtendentes de los intrados parciales de las dovelas, formando así en la totalidad una pirámide subtendente, la cual desarrollada se presenta en la (Fig. 239") cuya obtención es fácil, si se observa que los puntos de base del cono A', d', f'... etcétera, vendrán en el desarrollo á situarse en una circunferencia de radio $A\ x$ colocándose los puntos en A, d, f... etc., por los cuales pasarán las aristas de la pirámide, sobre las cuales colocándose la verdadera magnitud de las generatrices del cono en $x\ A$, $x\ D$, $x\ F$... etc., en donde uniendo los puntos extremos tendremos la línea quebrada $A\ D\ F\ C$. Sin embargo, el punto C se obtiene con alguna variante, pues si nos fijamos en el plano subtendente que corresponde á la clave, éste al pasar por la cuerda $F'\ F''$ y el vértice del cono representará un plano paralelo á la línea de tierra, y en este concepto será necesario buscar su intersección con cada uno de

los planos de paramento. Mas este plano teniendo por traza horizontal la $x\ x''$ corta en x'' á la traza horizontal $C\ Y'$ de dicho plano de paramento, y cuando éste gira para colocarse en $\omega\ N$, el punto x'' se coloca en $x'''\ x^{IV}$, infiriendo de aquí que si unimos x^{IV} con F_1, la parte de esta recta limitada entre F_1 y C_2 será la intersección de dicho plano subtendente con la cara de paramento. Tómese pues esta distancia y haciendo centro en los puntos pareados F, F trácense dos arcos que se corten en C, y uniendo F con C por medio de una recta, será la parte complementaria de la pirámide desarrollada, faltando no más limitarla inferiormente tomando sobre las generatrices una magnitud constante $x\ a$, $x\ d'$, $x\ f'$... etc., y uniéndolos por medio de rectas será la línea quebrada que corresponde á los puntos límites del trompillón.

De todos estos planos subtendentes fijémonos en uno de ellos, el que hemos expresado por θ y encontremos en él la curva de intersección que le produce al ser cortado por la faceta cónica de junta, cuya curva encontrada servirá luego de directriz auxiliar para el labrado de esta faceta, que una vez esta obtenida será fácil el labrado que corresponde al cono de intrados. Es evidente que los puntos d', f' forman ya parte de esta curva, la que presentándose en extensión muy reducida bastará un punto intermedio tal como ψ. A este fin bastará echar mano en la (Fig. 239) de un plano secante auxiliar que pase por el eje del cono, este plano tiene por traza vertical la recta $x'\ X$ el cual corta al cono según la generatriz $S\ x'$ y al plano subtendente según la recta $v\ x'$ y á la faceta cónica según una normal que parte del punto λ confundida también con la traza del plano; si pues rebatimos éste en el plano horizontal, la generatriz del cono se rebatirá en $x\ A$, la normal al intrados ó sea la generatriz de faceta se rebatirá en $a\ g$, y la línea de corte con el plano subtendente vendrá en $x\ v'''$; es evidente ahora que el punto ψ que se encuentre en la intersección de esta última con la $a\ g$ será el que buscamos, viniendo ahora á reducirse la operación á trasladar este punto en la (Fig. 239") situado á la distancia correspondiente del vértice x.

554. Nos fijaremos ahora en la dovela que está señalada con la letra Δ en la cara de paramento y partiendo del supuesto que empezamos la labra con las caras de paramento y el plano subtendente del intrados, nos convendrá averiguar

el ángulo diedro que mide la inclinación de estos dos planos. Para eso observemos que la recta intersección de los mismos la tenemos rebatida en la cuerda $D_1 F_1$ por lo que si escogemos un punto en ella tal como S y por él trazamos un plano $S t$ perpendicular á la misma, este plano cortando á los dos antedichos nos dará dos rectas que formarán el diedro que buscamos teniendo por vértice el punto S; todo pues quedará reducido á rebatir este plano secante alrededor de su traza horizontal, hasta tenerlo situado en el plano de proyección. Al hacer este giro el punto S se trasladará en (V, V') y luego á su primitiva posición V'', ahora es evidente que al rebatirse este plano, la recta por la cual corta al paramento vendrá á confundirse con la misma traza horizontal $V Y'$ del plano de cabeza, mientras que la otra recta de intersección se colocará rebatida en $V''\ Z$ puesto que este punto Z es intersección de las trazas horizontales $Z\ t''$ del plano secante con la $Z\ R''$ del plano subtendente toda vez que éste ha de pasar por el vértice x y el punto R'' traza horizontal de la cuerda $D_1 F_1$; luego según esto el baivel lo tendremos ya á nuestra disposición en el ángulo $Z\ V''\ Y'$.

555 Con todos estos datos procedamos á la labra de la piedra (Fig. 239'''), empezando á labrar un plano hasta tanto podamos colocar la plantilla auxiliar θ que representa el plano subtendente. Partiendo ahora de la recta $D\ F$ y haciendo uso del baivel encontrado, dispóngasele de modo que el plano de éste esté en dirección perpendicular á la recta $D F$ coincidiendo uno de sus lados con el plano en cuestión y así la otra rama nos irá indicando en sus distintas posiciones la dirección que se ha de llevar el labrado para que resulte la cara del paramento hasta tener una superficie lo necesario extensa para colocar la plantilla Δ. Dispuestos así estos datos es evidente que por una parte las rectas $f\ F$, $F H$ nos determinarán un plano y por otra las $D\ e$, $D\ G$ nos determinarán otro plano; serán los correspondientes á las juntas de lechos. Labrados que sean colóquense las plantillas de junta que vendrán dispuestas tal como nos indica la figura y de las cuales se presenta en ellas vista la plantilla Σ, colocando enseguida la plantilla posterior $\pi''\ \pi\ h.i$.

Con el auxilio de la curva $\pi\ \pi''$ y de las generatrices $\pi''\ p''$, $\pi\ p$ puede ya labrarse desde luego la superficie cilíndrica del trompillón $\pi''\ \pi\ p\ p''$ auxiliándonos el desarrollo de este trecho cilíndrico para limitarlo en la curva $p''\ 1\ p$.

Con la curva $p\ 1\ p''$ y la situada en $e\ \psi\ f$ se puede trazar ahora la faceta cónica del trompillón (faceta que ya sabemos que evita el ángulo agudo) valiéndonos al efecto de generatrices y puntos conductores tales como $\psi \cdot 1$ terminándola empero en su justo límite, ya que por anteriores operaciones, hemos visto que la curva $e\ \psi\ f$ era no más auxiliar producida por la intersección de la faceta cónica prolongada, con el plano que subtendia el intrados. Para este límite nos bastará tomar en la (Fig. 239'') del desarrollo la pequeña distancia $\psi\ 1'$ y colocarla en la misma disposición en la piedra de su referencia; así obtendremos la segunda, curva $e\ 1'\ f$ que será la definitiva que pertenece á la intersección del cono de intrados con el cono de faceta y la cual ha de estar destinada á coincidir con la línea de junta del trompillón.

Ahora se presenta sumamente fácil el labrado del cono de intrados, pues no hay más que descargar toda la piedra θ que constituye el plano subtendente sustituyéndolo por el verdadero intrados, el cual siendo cónico y teniendo á mano las dos directrices $E\ F$, $e\ 1\ f$ se logrará fácilmente haciendo resbalar una regla por ellas auxiliándonos los puntos de marca con que de antemano habremos tenido buen cuidado de fijar pareados.

Finalmente el resto del labrado lo constituyen una serie de planos cuyos límites nos han ido dando los patrones que se han colocado.

Bien se comprende ahora la labra del trompillón, pues es análoga á otros que anteriormente hemos visto.

Fig. X

556. Son por demás curiosas y que representan ingenio nada común los ejemplares que nos cita Mr. Denfer en su importante obra titulada *Arquitectura y construcciones civiles*.

Uno de ellos es el que representa la figura X que indica un cuerpo saliente del paramento de un edificio del castillo de Ormesson, en el valle de la orilla izquierda del Marne, próximo á Cheunevieres. Este muro avanzado está sostenido por

dos trompas cónicas salvando cada una de ellas la esquina correspondiente del edificio. Los arranques de semejantes bóvedas descansan por una parte en el muro que forma el paramento general y por otra en dos potentes y grandes mensulas empotradas perpendicularmente en el muro.

557. Es también de una gran originalidad, á la par que demuestra valentía de ejecución, las trompas compañeras que demuestra la (Lám. 53; Fig. 240), situadas en el Hôtel Lamoignon en la esquina de las calles Pavée y Francs-Bourgeois á París. Su oficio es sostener un cuerpo formando pabellón volado hacia las dos fachadas, sostenido por tres trompas iguales, una en la misma esquina y dos una á cada lado de la primera, ó sea la central. Esta, estriba directamente sobre dos grandes mensulas perpendiculares cada una á sus respectivos muros de fachada, mientras que las otras dos hacen el contrarresto de la central, apoyándose por un lado á la mensula correspondiente y por el otro en una de las fachadas de la calle en donde se ostentan.

558. Hemos de convenir que esta construcción, por su misma naturaleza de presentarse defectuosa, significa en su autor un conocimiento de la construcción é ingenio de primera fuerza al resolver este problema de dificultad suma, sobre todo en la disposición de las piezas próximas al ángulo, en donde la escasa superficie de apoyo relativo aumente las dificultades.

TROMPA CILÍNDRICA
sosteniendo una torre cilíndrica, que sobresale del paramento plano y general de un muro.

559. Se supone (Lám. 55, Fig. 242) un muro recto cuyo grueso está limitado por las trazas horizontales indefinidas $L\ T$, $A\,B$ de los planos verticales que forman los paramentos; en este muro hay precisión de adherirle una torre cilíndrica, volada por la parte anterior cuya base está representada por el arco de círculo $A\,C\,B$; más como este aditamento no empieza sino hasta cierta altura conviene echar mano de una bóveda especial para sostener el cuerpo cilíndrico formando cuerpo avanzado.

Puédese recurrir para ello á una trompa cilíndrica. La intersección del cilindro de la torre con el plano vertical del muro vendrá expresada por las dos generatrices verticales $A'\,A''\,B''\,B''$. Escogeremos el plano de proyección horizontal confundido con el plano de arranque del cilindro que constituye el intrados de la trompa.

Partiendo ahora del dato que la línea de intersección de los dos cilindros, esto es, el horizontal del intrados y el vertical de paramento sea una curva tal que se proyecte verticalmente según una semicircunferencia; trazaremos desde luego esta $A'\,C'\,B'$ con el auxilio de su radio $A'\,O'$, pudiendo enseguida proceder á la averiguación de su sección recta que puede ser el plano cuya traza horizontal es $B\,H$, girándolo luego alrededor de la vertical B, $B'\,B''$ hasta colocarlo paralelo al plano vertical, en este movimiento el punto C^{IV} intersección de la generatriz horizontal que pasa por C viene en C''', C''. Toda otra generatriz tal como $E\,E^{V}$ cortará en E^{V} al mismo plano $B\,H$ viniendo después del giro á colocarse en E'''; de modo que así repitiendo operaciones para las demás generatrices concluiremos obteniendo la curva $B\,E'''\,C''$ para la sección recta en cuestión, y con su auxilio poder continuar las operaciones. Esta curva es una hipérbola (*)

560. Procedamos pues ahora al despiezo, dividiendo el arco de cabeza en un número, impar de partes iguales $A'\,D'$, $D'\,E'$, $E'\,F'$, etc , haciendo pasar planos por ellos y la recta horizontal $C\,O'$ terminándolos superiormente por los planos horizontales de asiento que indican las hiladas en el muro. En cuanto á la parte inferior se encuentran aquí los mismos in-

(*) La curva del espacio cuyas proyecciones son $A'\,C'\,\mathcal{B}'$, $A\,C\,\mathcal{B}$ puede considerarse también como producida en la intersección de los cilindros proyectantes. el uno el vertical de la torre y el otro el horizontal que proyecta la curva en $A'\,\mathcal{B}'\,C'$.

Según esto si tomamos tres ejes coordenados, considerando la recta $O\,\mathcal{B}$ eje de las x la $O\,C$ eje de las y y la vertical que se levanta en O como á eje de las z tendredremos que las ecuaciones de los dos referidos cilindros proyectantes se podrán expresar por

$$x^2 + (y + O\,\omega)^2 = (\omega\,C)^2$$
$$x^2 + z^2 = \overline{O\,B}^2$$

Resultando según esto que el cilindro horizontal de intrados de la trompa tiene por ecuación

$$(y + O\,\omega)^2 - z^2 = \overline{\omega\,C}^2 - \overline{O\,B}^2$$

ó lo que es lo mismo que su sección recta en el plano de perfil $O\,C$ es una hipérbola equilátera rebatida lateralmente en $B\,\mathcal{M}''\,C''$.

convenientes que en las demás trompas, es á saber, la concurrencia en ángulos sumamente agudos, de los lechos á raíz del eje $O' C$, evitando tal defecto valiéndonos como en los demás casos de una piedra especial, esto es, el trompillón, cuya forma se regulará con arreglo á la correspondiente á la cara de cabeza. Partiendo pues de esta prescripción se trazará el arco de círculo $a M b$ concéntrico con el $A C B$ y concibiendo el cilindro vertical que se levanta sobre ella, la intersección que produzca con el cilindro horizontal de la trompa nos dará en el espacio la arista con que termina la cabeza del trompillón.

561. Un simple cilindro horizontal perpendicular al plano vertical teniendo por directriz la citada línea sería lo suficiente para la terminación de la pieza, habida cuenta de que no siendo muy considerable la altura del trompillón no cortaría aquí en este caso particular en ángulos exageradamente agudos, tal como puede observarse en la sección recta rebatida, así obrando haríamos más expeditas las ulteriores operaciones facilitando la puesta en junta de cada una de las dovelas.

Sin embargo al objeto de resolver el problema en toda su extensión se tratará aquí de engendrar una superficie normal al intrados cilíndrico á lo largo de todos los puntos que constituyen la línea $a M b$ y á este fin se supondrá que la primitiva masa del trompillón la forma un paralepípedo cuya altura sea $O' m'$ siendo su base un rectángulo cuyos lados son $a' b'$, $O' M$. Este paralepípedo adquirirá otra forma que le irán comunicando las nuevas superficies que se introduzcan para la terminación de la piedra. Así desde luego la parte anterior quedará limitada por la superficie cilíndrica de intrados que se proyecta verticalmente según la semicircunferencia $a' M' b'$ cuya sección recta está rebatida en la curva que va de B' á M'', luego seguirá la superficie normal que se apoya sobre esta última línea é irá á cortar á las caras superior, laterales y posterior de la piedra comunicándole la configuración que representa la piedra de la (Fig. 243'').

Procédase pues á la construcción de esta superficie normal. Tracemos al efecto las normales al cilindro de intrados por varios puntos escogidos en la curva de cabeza del trompillón, más antes observemos que atención hecha á la manera de estar situada la piedra del trompillón, estas normales estarán proyectadas en planos de perfil por lo que convendrá recurrir á un nuevo plano de proyección para así poder encontrar con facilidad las intersecciones de aquellas rectas con las caras del trompillón; este plano es el $B' H$ al cual recordaremos que se ha colocado en la disposición $B C'''$ girando alrededor de la vertical B para colocarse paralelo al de proyección vertical. En este estado la normal en el punto M, M' cortará en m' al plano horizontal superior y si ahora la proyectamos en el plano vertical auxiliar á que nos hemos referido es evidente que se proyectará según la normal $M'' m''$ normal á la sección recta $B' C''$, luego es evidente que obtenido ya el m'' puede éste ya trasladarse á su primitiva posición m, tal como muestran las operaciones. Escojamos ahora otro punto (N, N') la normal que por él pasa, corta en n' al plano horizontal superior pudiendo encontrar la proyección horizontal de este punto de corte acudiendo como antes al plano auxiliar en donde esta recta se proyecta según $N'' n''$ dándonos inmediatamente con el punto n' el punto de intersección que se desea transportándolo luego en el plano horizontal para que allí esté colocado en su debido lugar.

Así siguiendo estas operaciones llegaremos á obtener una serie de puntos que unidos nos darán una curva tal como $t v h m n q^{V}$ intersección de la superficie alabeada normal con el plano horizontal de asiento

Pero al llegar á los puntos t, q^{V} esta junta normal empieza cortando á la cara posterior y lo hace según dos curvas proyectadas verticalmente según $q''' b'$, $t' x z a'$, cuales puntos pueden encontrarse también cada uno de ellos con el auxilio de la proyección auxiliar sobre el plano de la sección recta puesto que allí toda la piedra del trompillón está proyectada según el perímetro $O' B' M'' m'' m'$ así es que allí se ve perfectamente como la normal $Q'' m'$ es la última que cortará al plano horizontal superior y la primera que cortará al plano posterior empezando pues las curvas en esta cara en los puntos correspondientes al que representa el m', escogiendo pues un punto intermedio entre B', Q'' y trazando por él una normal á la sección recta es evidente que el citado punto y otros análogos que así escogiéramos al conducirlos luego á su posición primitiva desaciendo el giro del plano auxiliar nos irían dando, permaneciendo siempre á la misma altura los distintos puntos $x z$..... etc., que unidos nos darían las líneas simétricas por una y otra parte que limitan el trompillón al ser cortado

su cara plana posterior por la superficie normal de que se trata.

562. Definida así esta pieza central de la trompa se puede proceder ya enseguida al análisis de juntas como por ejemplo si nos fijamos en la $I' g'$. Corta al intrados cilíndrico de la trompa según un arco elíptico proyectado en la recta $F' g'$ verticalmente y en la curva $F f g'$ en el plano horizontal, cuyo punto intermedio f de esta última puede encontrarse fácilmente, valiéndonos de una generatriz que pase por f' de la proyección vertical la cual cortará á la sección recta en f'', representando pues este punto f'' la proyección de toda esta generatriz sobre el plano de dicha sección recta, y conduciendo por lo tanto esta última á su debida posición $B H$, claro está que la generatriz á que nos referimos vendrá expresada por la $f^{IV} f$ paralela á la línea de tierra, proyectándose en ella definitivamente en f el f' escogido en el plano vertical.

A partir del punto g' el plano corta á la junta normal según la pequeña curva $g' n$ (que puede encontrarse fácilmente por la serie sucesiva de puntos de intersección del plano con cada una de las normales); sigue luego la recta $n j$ perpendicular al plano vertical y es el resultado del corte del plano del lecho con el asiento horizontal superior del trompillón. Corta luego al plano posterior según la recta $j J$, al asiento horizontal de hilada de la piedra según la recta $J I$ y por último cierra el contorno de la plantilla la línea elíptica $I F$ producida por la sección del plano secante con el cilindro vertical de la torre. Si luego se hace girar este plano alrededor de su traza horizontal $O' C$ hasta que venga á rebatirse en el plano de proyección tendremos allí el contorno de la plantilla. Así pues todos los puntos de la misma describirán arcos de círculo paralelos al plano vertical colocándose definitivamente los puntos F en F'', f en f^{IV}, g' en g'', la curva $g' n$ en $g'' h''$ la recta $n j$ en $h'' j''$, la recta $j J$ en $j'' I''$ la recta $J I$ en $I'' I'''$ y finalmente la curva $I F$ en $I''' F''$ resultando así la plantilla $j'' h'' g'' F' I''' I''$. Del propio modo se encontrarán todas las demás.

563. Conviene para proceder con más exactitud al labrado del intrados cilíndrico conocer de antemano el desarrollo del mismo puesto que con él son más ventajosas las rectificaciones que puedan hacerse al finalizar la labra. A este fin

(Fig. 242') sobre la recta $O_1 C_1$ rectifiquemos los distintos elementos que integran la sección recta $B' C''$ de la (figura 242). Conduzcamos después por los distintos puntos M_1, ε_1,... etc., rectas que le sean perpendiculares, tomando sobre cada una de ellas las distancias $O_1 A_1$, $M_1 Y_1$, $\varepsilon_1 F$... etc., iguales respectivamente á las generatrices de su referencia deducidas del plano de proyección horizontal. Haciendo pasar ahora por todos los puntos encontrados la línea $A_1 Y_1 D_1 E_1 C_1 B_1$ ésta representará en su conjunto el desarrollo pedido, más para completarlo faltará colocar en él valiéndonos de idénticas operaciones todas las líneas de junta así como la del trompillón pudiendo disponer entonces del desarrollo parcial que corresponda á cada una de las dovelas que se escojan.

564. **Labra.**—El trompillón. Dispóngase un paralepípedo (Fig. 242''), de las dimensiones que antes se han mencionado viniendo así dispuesto entre las bases $\alpha \alpha' \beta' \beta k p' b'$, trácese en la parte anterior la recta horizontal $\mu \mu'$ á la altura del punto M_1 situado en el culminante de la base de este trompillón, además tómense las distancias en la base inferior αa, βb iguales á la separación $M O$ de la proyección horizontal, y hecho esto puede colocarse una cercha en las partes laterales que pase por los puntos $\mu, a; \mu', b$, cercha deducida de la sección recta en la parte $B' M'$. Con el auxilio de estas cerchas puede labrarse ya la superficie cilíndrica de intrados, que ya trazada tendrá su representación en $a b \mu \mu'$, faltando solo limitarla con la línea de base $a M_1 b$, valiéndonos al efecto del segmento $a_1 M_1 b_1$ de la (figura 242').

Sobre el plano horizontal superior colocaremos la plantilla $t v m n q''$, así como en la cara posterior la plantilla sacada de la proyección vertical $a' x t' q'' b'$, advirtiendo que al colocar todas las líneas curvas que forman parte de estas plantillas vendrán colocados con ellas los puntos de referencia que han de servir dos á dos de apoyo á la generatriz normal que á su tiempo ha de engendrar la superficie de junta expresando la figura, la disposición de dichas generatrices, según se apoye en una ú otra de estas curvas.

Labra de una dovela.—Adoptando el sistema de baiveles haremos depender aquí la labra fijándonos por ejemplo en la dovela Σ de la inclinación que guardan entre sí los planos de junta $P c$ y el subtendente que pasa por la cuerda $c d$, cuyo diedro tenemos ya en verdadera magnitud en el plano verti-

cal atendiendo que los dos planos de que se trata son perpendiculares al de proyección vertical.

Escójase un bloque en la Fig. 242''' de las dimensiones aproximadas de la piedra de que se trata; las que se deducirán con el auxilio de los dos planos de proyección. En la parte destinada al lecho lábrese un plano lo bastante extenso para que podamos aplicar la plantilla de junta △, terminándola empero con la recta $d\ \theta$ que pasa por el punto d y perpendicular al paramento posterior; esta recta $d\ \theta$ representará la intersección del plano de junta con el plano subtendente que pasa por la línea $d\ c$ del trompillón y á que nos hemos referido en la figura en proyecciones. Así se concibe como por medio del baivel φ se pueda labrar este último plano que tenga la debida inclinación con el de la plantilla △. Repítase ahora igual operación con el plano de lecho inferior valiéndonos de otro baivel que mida el ángulo de este último plano con el referido subtendente cuya arista de intersección es $c\ \pi$, colocando la plantilla de su referencia una vez determinado su plano. No hay duda ahora que dispuestas en su lugar las dos plantillas de lecho superior é inferior quedará determinado el plano de paramento posterior pudiéndose colocar en él la plantilla que le corresponde y cuya verdadera magnitud tenemos en el plano vertical en $P\ z\ x\ U\ R$. Ahora las rectas $R'\ U'$, $U'\ U$ nos determinan el plano de asiento horizontal que se limitará echando mano de la plantilla $R'\ U'\ U\ S\ R$. Las curvas $S\ U$, $K\ D'$ podrán servir de directrices para la labra de un cilindro vertical, esto es, perpendicular al plano de asiento superior, por lo que se podrá rectificar este labrado con el auxilio de la escuadra del cantero; colocando en el momento oportuno sobre esta superficie labrada el desarrollo $S\ U\ E'\ D'\ K$ que de antemano habremos encontrado por medio de las proyecciones. Con la horizontal $R\ S$ y la vertical $S\ K$ lábrese el plano vertical del paramento anterior colocando enseguida en él la plantilla trapecial $R\ S\ K\ P'$.

Resta solamente el trabajo que corresponde á la superficie cilíndrica de intrados así como á la junta normal alabeada. Más para esto, encontremos la intersección de este plano subtendente $c\ d$, con el cilindro de intrados para así disponer de una curva $d''\ e''\ c''$ (fig. 242) que nos auxilie para el trazo de la superficie de intrados. Tres puntos nos bastarán atención hecha á lo reducido de esta curva. Por de pronto es evidente que los puntos c, d ya pertenecen á dicha línea faltando solo

uno intermedio. Escójase para esto una generatriz del intrados $p\ p$, $p'\ p'$, ésta corta en e, e''' á dicho plano subtendente y así la curva en cuestión pasará por $c\ e\ d$ proyectada en una línea recta en el plano vertical. Rebatiendo pues este plano $J\ d$ en el de proyección horizontal, la curva en cuestión vendrá expresada en $d''\ e''\ c''$, mientras que la plantilla auxiliar que constituye los límites del plano subtendente será el cuadrilátero $d'\ d''\ e''\ c''\ c'$, el cual se colocará en la (Fig. 242''') disponiéndolo en $\theta\ d\ l\ c\ \pi$. Ahora la curva $d\ l\ c$ auxiliada con las $D'\ E'$, $E'\ d$, $D'\ c$ pueden servir de directrices para el labrado de esta superficie cuyo trabajo llevaremos á cabo recurriendo á puntos de referencia y generatrices que por ellos pasen, y labrada que así sea conforme expresa la figura se podrá limitar enseguida en $D'\ E'\ d\ 3\ 4\ c$ recurriendo al desarrollo de la figura 242'. Finalmente si tenemos buen cuidado de señalar ahora en las curvas $d\ c$, $x\ z$, puntos de marca por donde pasan las generatrices normales, estos nos guiarán para el desvaste de la piedra excedente y obtener la superficie normal pedida quedando así terminada la piedra.



Fig. μ
Trompa cilíndrica, facsímile de un grabado antiguo.

565. Téngase en cuenta que en la cuestión actual hemos partido del supuesto de que se nos daba la curva de paramento deduciendo por medio de ella la sección recta del cilindro de intrados; pero fácilmente se concibe que bien pudiera suceder que se nos diera esta última y entonces tendríamos que

deducir por la inversa la línea que limita la trompa en la torre cilíndrica, pero siempre y en todo caso obedeciendo á las leyes de la gravedad la tangente en el punto C'' á la curva $B' C''$ ha de ser tal que corte en el plano horizontal hacia el interior del muro.

566. La Fig. μ nos da ejemplo de una trompa de esta clase cuyo dibujo es reproducción de un grabado antiguo representando un baluarte atronerado en una fortificación alemana.

TROMPA CILÍNDRICA EN UN CHAFLAN

567. (Lám. 55, Fig. 243). En un ángulo cualquiera $M C N$ formando esquina vertical que se proyecta en el punto C se supone al objeto de hacer más expedita la vía pública, ó por exigirlo así las condiciones de visualidad se roba dicho ángulo sustituyéndolo por el chaflán A B, perpendicular á la bisectriz C ω, dejando así vacua toda la parte de superficie triangular encerrada en el triángulo A B C. Sin embargo á partir de una cierta altura hay el pie forzado de que aparezca la esquina mencionada, más como ésta se ha de presentar en un cierto vuelo será preciso valerse de una construcción especial para el debido apoyo de aquella y de modo que la superficie que para ello se emplee venga á unirse gradualmente con el plano vertical del chaflán mencionado partiendo del punto extremo inferior de la esquina y concluyendo con la línea horizontal de arranque superior de la cara achaflanada. Estos datos pues se prestan para el empleo de una trompa cilíndrica determinada del siguiente modo:

Tómese como á plano horizontal de proyección L T, el mismo que sirve de arranque á la trompa. Concíbase por C ω, un plano vertical y en él una curva circular por ejemplo y que hemos rebatido en $C'' f'' e'' d''$ ω, esta línea se la supondrá como sección recta de un cilindro cuyas generatrices proyectadas horizontalmente serán las $F f''$, $E e''$, $D d''$,... etc., las cuales cortando á las caras de paramento en los puntos F, E, D unidos nos darán las curvas de cabeza $A' D' E' F' C'$ cuya proyección vertical viene indicada del modo como se ha encontrado.

Las juntas pasan ahora por cada uno de estos puntos (que

ya de antemano se han escogido de modo que dividan el arco en un número impar de partes) y por la recta eje de figura C ω que aquí será también el eje de juntas, limitándose estas líneas en los planos horizontales de hilada así como en las juntas verticales alternadas en las caras de paramento.

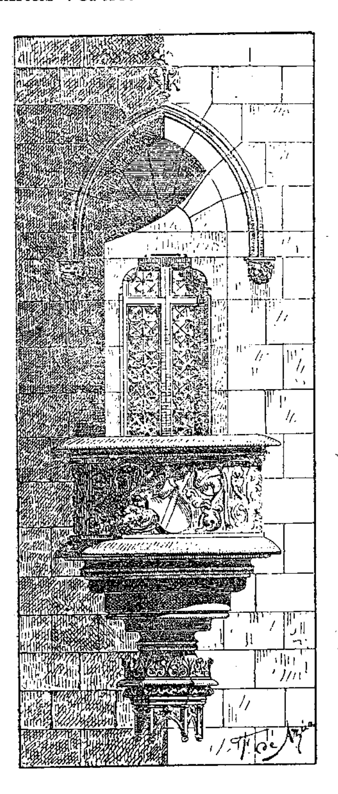


Fig. Σ

El trompillón lo formaremos de manera que tenga por base una curva proyectada verticalmente según la semicircunferencia de radio a' ω', haciéndola servir luego de directriz de un cilindro horizontal perpendicular al plano de proyección vertical, Una junta cualquiera tal como la $G' d'$ se compone de cinco lados 1.° la curva D d intersección con el cilidro de intrados, 2.° de la recta d δ intersección con el cilindro del trompillón. 3.° de la recta δ G intersección con la cara de paramento posterior. 4.° de la recta g G y 5.° de la recta G D intersección con la cara de paramento anterior. La verdadera magnitud de esta plantilla se encontrará rebatiéndola en el plano horizontal alrededor del eje de juntas, operación que hemos hecho tantas veces que sería enojosa ya su repetición.

Un punto cualquiera (φ φ') de las líneas de junta del intrados se encontrará fácilmente escogiendo la proyección vertical φ' haciendo pasar por él una generatriz, ésta corta á la sección recta en q' cuya altura sobre el plano horizontal se trasladará sobre el rebatimiento en e'' y de éste deduciremos la proyección horizontal de la generatriz que pasa por q, proyectando finalmente en ella el punto φ' en φ.

Convendrá tener á mano la verdadera magnitud de toda la cara de cabeza y á este efecto se podrá colocar toda esta paralela al plano vertical tomando por ejemplo como á charnela la vertical O, $O' O''$, conforme muestran todas las construcciones adjuntas á la figura de que se trata.

También para mayor exactitud del labrado se podrá desarrollar la superficie cilíndrica de intrados insiguiendo los principios establecidos en el ejemplo anterior.

568. Las figuras 243‴ y 243″ muestran el labrado de una dovela y el que corresponde al trompillón, ambas operaciones que por lo sumo sencillas y análogas á casos anteriores nos dispensan de entrar en más explicaciones sobre el particular.

569. La Fig. Σ nos puede dar ejemplo del empleo de una trompa de esta naturaleza, cuyo motivo está inspirado en un detalle arquitectónico de la casa rectoral anexo á la iglesia de Santa Ana de Barcelona.

570. Notable llamando grandemente la atención de los inteligentes fué la famosa trompa del arquitecto Desargues construída en un chaflán de la esquina de una casa de Lyon en el Pont-au-Change.

Hay también ejemplares de trompas de este género en París, Hotel Feuillade, place des Victoires.

TROMPA ANULAR EN UNA ESQUINA

571. La esquina se presenta en las mismas condiciones que el caso anterior, mediando la diferencia de que allí se robaba el ángulo empleando un chaflán mientras que aquí se le sustituye por un cilindro recto $A\ O\ B$ (Lám. 56, Fig. 246) tangente á los planos de paramento, lo que ofrece un aspecto más agradable en razón á la continuidad de las superficies, obligando como á consecuencia á cambiar la superficie de intrados de la trompa, la cual habiendo siempre de partir del vértice F' punto inferior de la arista y enlazar con el cilindro vertical del acuerdo siendo las dos superficies tangentes á lo largo de la base superior de aquél, se origina por esta misma exigencia la clase de superficie que puede emplearse cual es

una superficie anular, cuyo plano meridiano puede considerarse levantando verticalmente sobre $O\ F$ conteniendo una cierta curva meridiana como por ejemplo la que se ha rebatido en $O\ C_1\ D_1\ E_1\ F_1$ que aquí es un arco de círculo. Si ahora se toma como eje de revolución la vertical que se levanta en el punto ω, centro por el cual se ha verificado el acuerdo en los puntos A, B se concebirá fácilmente como una vez proyectados los puntos del arco meridiano en $c_1\ d_1\ e_1$, $e_1'\ d_1'\ c_1'$, cada uno de ellos girará alrededor de la vertical ω describiendo su arco de circunferencia correspondiente tales como $e_1\ E$, $d_1\ D$, $c_1\ C$... etc., las cuales no serán más que los distintos paralelos de una superficie tórica proyectada en el triángulo mixtilíneo $A\ F\ B$ y cortada por los planos de paramento en $A\ F$, $B\ F$.

Procede ahora proyectar verticalmente las caras de cabeza para lo cual bastará trazar las distintas horizontales que pasan por los puntos c'_1, d'_1, e'_1, que representarán las proyecciones verticales de los paralelos de la superficie anular sobre los cuales se irán proyectando sucesivamente cada uno de los puntos $C'\ D'\ E'$ en donde cortan al paramento. La curva que los una $A'\ C'\ D'\ E'\ F'$ será el arco de cabeza de la trompa partiendo del punto F' la arista vertical $F'\ F''$ de la esquina

Divídase ahora el arco $A'\ F'$ en un número impar de partes iguales haciendo pasar planos de junta por ellos y el eje de figura $F\ O'$. Estos planos $E'\ O'$, $D'\ O'$, $C'\ O'$ se limitarán superiormente á la altura de las hiladas horizontales de los muros y hacia la parte inferior al encontrar la superficie cilíndrica del trompillón, cuya base es la curva situada sobre la superficie anular y proyectada verticalmente según la semicircunferencia de radio $o'\ a'$.

Tendremos ahora que cada uno de estos planos de junta cortará á la superficie anular de intrados según una curva que será necesario encontrar. Observaremos que ya de momento tenemos la curva proyectada verticalmente según una recta traza vertical del plano que la contiene como por ejemplo la $E'\ e'$ y por lo que se refiere al punto E' éste se proyecta directamente en E, mas todo otro punto tal como Q' se encontrará horizontalmente, teniendo en cuenta que por él pasa un paralelo del toro tal como $Q'\ D'$ y éste se proyecta según la circunferencia $D\ d_1$ sobre el cual se proyectará directamente el punto Q' en Q, del propio modo determinaríamos

todo otro punto tal como el e y si tenemos por fin en cuenta que el punto $O\ O'$ ha de ser común á todas estas curvas, podrán trazarse ya desde luego con la mayor exactitud y comprendidas entre las caras de cabeza y el trompillón.

Determinado así el aparejo encuéntrense las juntas pudiendo antes hacer el análisis de las mismas, así escogiendo la $P'\ e'$ ésta corta al plano de paramento según la recta $P\ E$ luego corta á la parte cóncava de la superficie tórica según la curva $E\ Q\ e$, luego al cilindro del trompillón según la generatriz $e\ e''$ al plano de paramento posterior según la recta $e''\ P''$ y finalmente al plano de asiento superior según la $P''\ P$. Esta plantilla se obtendrá en verdadera magnitud haciéndola girar alrededor del eje $O'\ F$ como así lo hemos efectuado obteniéndola en Σ.

Aquí lo mismo que en la cuestión anterior será preciso girar las caras de cabeza junto con su correspondiente despiezo hasta obtenerlo paralelo al plano de proyección vertical para así acudir á ellas al echar mano de los patrones parciales de cada una de las dovelas por lo que se refiere á la forma de sus cabezas.

La (Fig. 246') representa la dovela Σ labrada ofreciéndonos aquí lo único de particular cuando de la labra se trate de la superficie de intrados, pues siendo ésta de revolución bastarán cerchas meridianas que vayan apoyándose sucesivamente en los puntos de marca señalados en las dos directrices que les correspondan según la situación de la curva generadora, así éstos vendrán en $z\ x$, $E\ x''$, $z'''\ x'''$ cuyos puntos de marca se deducirán de la proyección horizontal al representar varias posiciones 1-$1'$, 2-$2'$, 3-$3'$... etc., del plano meridiano generador. Según sean los puntos de intersección de este meridiano con cada una de las líneas $D\ E$, $E\ Q\ e$, $e\ d$, $d\ D$, éstos se referirán á su línea que les corresponda de plantilla y de allí á la piedra.



Fig. η
Trompa anular

La Fig. η ofrece un notable ejemplo de trompa anular, situada en una esquina de un edificio de la ciudad de Amberes.

TROMPA APECHINADA

572. Lám. 56, Fig. 247. Se suponen tres planos verticales cuyas trazas sobre el plano horizontal son $A\ B$, $B\ C$, $C\ D$; y á una cierta altura un cuarto de circunferencia horizontal $A\ F'\ D$ tangente á las trazas horizontales $A\ B$, $D\ C$ las que si estuvieran suficientemente prolongadas se cortarían en ángulo recto en el punto ω. La diferencia de nivel que existe entre este arco circular y la horizontal $B\ C$ se tiene dispuesta en el plano vertical según la altura $G''\ F''$.

Se quiere ahora que á lo largo de la línea circular $A\ F'\ D$ se levante una construcción que puede ser cilíndrica ó esférica, mas como ésta por la disposición de los datos ha de resultar voladiza, exige en su virtud que la construcción inferior responda á tal exigencia, recurriendo á una trompa apechinada ó pechina forzada como la llama Bertolazzi. *(Trompa á conchillia costretta.)*

La superficie de intrados de esta trompa exige que arranque de la recta $B\ C$ y termine en el arco circular $A\ F'\ D$ y con este solo dato ya podemos inferir que esta superficie será de las que admiten una generatriz variable y cuyas distintas posiciones serán horizontales que determinaremos del siguiente modo. Concibamos tres directrices curvilíneas colocadas la una en el plano vertical $A\ B$ rebatida en el plano horizontal según el cuarto de circunferencia $E\ m''\ B$, la otra contenida en el plano vertical $C\ D$ siendo también un cuarto de circunferencia igual á la primera y la tercera en el plano vertical $F'\ G$ el cual se ha trasladado en $G'\ O'$, rebatiendo luego la curva que le contiene lo cual es un arco circular $G'\ F$ de centro O' que se ha determinado por el cruce de la línea de arranque que pasa por G' y la perpendicular en el punto medio de la cuerda que une G con F. Téngase en cuenta que el punto F es condición precisa que esté á la misma altura que los A, D. Proyéctense luego en el plano vertical las dos primeras directrices en las elipses $A'\ m'\ B'$, $B''\ n'\ C'$.

Si disponemos ahora una serie de planos horizontales que pasan por las distintas alturas a', b', c', d', del rebatimiento, estos cortarán á las curvas en puntos tales, como por ejemplo (m', m), (d'', d), (n', n) que tres á tres estando colocados en

un mismo plano horizontal, se podrá hacer pasar por ellos una circunferencia de modo que el lugar geométrico de todos ellos se podrá considerar como una superficie envolvente de todas las posiciones que ocupa en el espacio la circunferencia horizontal *A F' D* resbalando constantemente por las tres directrices mencionadas, permaneciendo siempre horizontal, abriéndose sin cesar al pasar de una á otra posición en que disminuye de curvatura y aumenta por lo tanto de radio hasta que al finalizar su camino la curvatura se ha reducido á cero, convirtiéndose en la recta *B C*.

Las juntas de lecho en la pechina serán superficies cónicas cuyo vértice sea el punto *O'*, así es que si nos fijamos en la hilada que pasa por la circunferencia *i j* esta junta cónica vendrá cortada por el plano horizontal de asiento según la circunferencia *α t*, cuyo radio deduciremos del vertical en donde está rebatida la directriz *G' F* en donde están indicadas ya las operaciones, más como que la junta cónica se eleva desnivelándose por lo tanto de la junta horizontal del sillar que á ella va adjunta, quedará según ésta una pequeña faceta triangular *j t x*, *j' t' x'*. La combinación de estas juntas de enlace puede variar de muchos modos y una de tantas disposiciones es la que ofrece la (Fig. 247') que representa la piedra ya labrada en cuyo trabajo no nos detenemos puesto que el resto de las operaciones se concibe fácilmente, atención hecha á los anteriores y análogos casos que se han detallado.

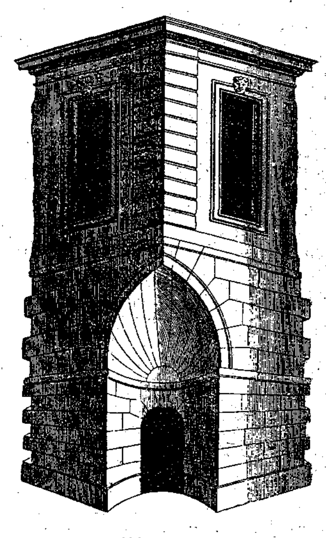


Fig. γ
Trompa esférica en una esquina.

TROMPA ESFERICA

573. (Fig. γ) Esta trompa resulta ser un nicho esférico en el cual se considera no más, el resto de lo que haya quedado, después de haber sido cortado el cuarto de esfera por los dos

planos que forman los paramentos que se encuentran en ángulo recto. Así, si la superficie de intrados de la trompa ha de ser en alguna circunstancia esférica como en el caso actual que se trata de una esquina robada en la parte inferior, dejando un hueco en forma de ángulo entrante en el interior del muro, puede aquella sustituir á la bóveda cónica recta, cuyo empleo ya estudiamos. Más al echar mano de esta esfera, será de modo que se escoja para ella un radio bastante capaz para que las tangentes en el punto culminante de los arcos de círculo que produzcan las secciones de los planos de paramento con ella estén inclinados hácia la línea de arranque. De todos modos el plano de arranque lo cortará según una parte del ecuador, cuyo plano se tomará como á base de operaciones, como de proyección horizontal facilitándolas en gran manera.

Este caso está indicado para cuando sea preciso disponer una puerta en la misma esquina, pues entonces la abertura tiene fácil colocación en el muro cilíndrico cóncavo que va á servir de base á la esfera, conforme muestra la (Fig. γ); solución que no habría podido desarrollarse, á lo menos con las ventajas actuales, de adoptar la superficie cónica que antes hemos aludido, pues el ángulo interior dificultaría algún tanto la colocación del rompimiento.

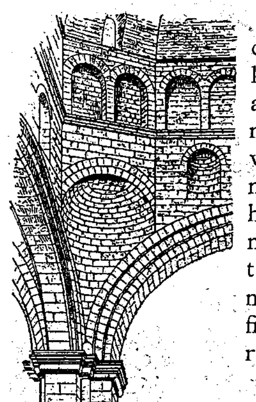


Fig. Ψ
Trompa esférica en la iglesia de Worms

574 Un ejemplo de esta clase hay en París, debido á Filiberto de L' Orme, en el antiguo hotel Vrilíere, hoy día el Banco de Francia, calle Radziwil.

575 Otro ejemplo de trompa esférica notable existe en París, en el extremo del ábside de la Iglesia de San Sulpicio, llamando en extremo la atención por el gran radio de la esfera. El trompillón está sustituído por un pequeño nicho esférico.

576 Del mismo modo se recurrió á la trompa esférica en los cruceros de las iglesias, en donde á la par que prestaba

debido apoyo á la cúpula, facilitaba el paso de la forma cuadrada á la poligonal, como de ello es buen ejemplo entre tantos que podríamos escoger el de la (Fig. Ψ) que representa dicho detalle en la Iglesia de Worms (Alemania) que data de la mitad del siglo XII.

La cúpula está construída según las tradiciones griego-bizantinas, recordando la de Daphni, cerca de Atenas, y quizá aun acentuando más el recuerdo la de San Nicodemos.

Este notable ejemplo, así como las prácticas seguidas en las Iglesias de San Antonio de Milán y la de la Trinidad en Caen nos dan una elocuente prueba de la época de transición, que preparaba el cambio que iba á sufrir el arte monumental del siglo XIII.

TROMPA COJA Ó DE ARRANQUES DESIGUALES

577. Los arranques de la trompa están en este caso. (Lámina 55), (Fig. 245) inclinados al horizonte, su intrados se ha construído en varios ejemplos ya plano, cilíndrico ó en superficie cónica, en general con esta última. Su empleo tiene lugar cuando hay que sostener construcciones en bajada ó inclinadas al horizonte.

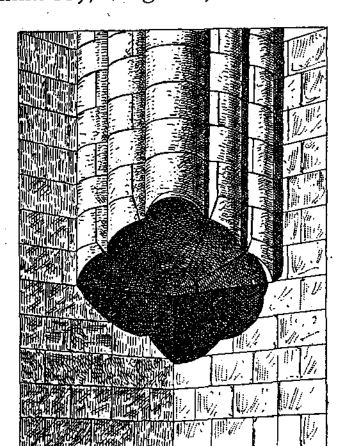


Fig. O.
Trompa ondulada del castillo D'Anet.

578. Dos ejemplares de esta índole dejó Filiberto de L'Orme; construídos el uno en 1536, en Lión en la restauración de un edificio de propiedad del general Billaud. Son dos trompas, que sostiene cada una, una torre cilíndrica, alojando cada una de ellas una habitación. La del norte es en esbiage, coja y rebajada, decoradas con los órdenes dórico y jónico.

579. El otro es la tan renombrada trompa ondulada (Figura O), su intrados es cónico y sostiene un muro cilíndrico

de sección recta ondulada, se construyó en el famoso castillo D' Anet para sostener un pequeño gabinete al servicio del rey Enrique II. Este ejemplo de que nos hablan los tan conocidos estereotómicos De La Rue, Derand, Dessargues hicimos ya de él una indicación en la parte histórica.

Hemos hecho tan sólo, indicar á la ligera estas últimas trompas pues no entra en ellas ningún detalle nuevo, concibiéndose fácilmente la resolución de todos ellos una vez resueltos los casos anteriores.

Finalmente las trompas pueden encontrarse establecidas y conbinadas con otras bóvedas, pero esto ya nos apartaría de lo esencial de la cuestión cual ha sido el tratar solamente de las bóvedas simples.

COLOCACION Y RETOQUE EN LAS TROMPAS

580. Si se trata de trompas cilíndricas, se procederá ante todo al trazado de su proyección horizontal en el plano de montea especial, que aquí será una superficie lisa y plana de madera constituyendo un gran tablero, conteniendo dibujadas cuidadosamente las líneas que representan proyecciones horizontales de las cabezas del trompillón, de la curva de cabeza y de las líneas de junta que pertenezcan al intrados, resultando así en todas ellas sus vuelos ó salidas bien demarcados.

Teniendo ya así este esencial elemento se colocará todo el mencionado tablero en el mismo sitio de la construcción, asegurándonos bien de su horizontalidad y coincidiendo con el plano de arranque de la bóveda. Claro es ahora que con su auxilio se pueden trazar fácilmente una serie de líneas verticales ó plomadas que partan de cada uno de los puntos de las curvas mencionadas, tomando sobre cada una de dichas verticales las alturas que nos indiquen en la proyección vertical los puntos de la piedra cuya comprobación quiera hacerse de manera que ocupe el verdadero lugar que se le tiene destinado en el espacio. De este modo se conseguirá por medio de una serie de operaciones análogas que las líneas de paramento y del trompillón estén en su verdadero sitio respondiendo á las voladas y alturas que ocupan en la bóveda expresándose sin solución de continuidad. Estas ya colocadas no hay duda que servirán de guía para que á su vez todas las

líneas de junta ocupen su debido lugar, cuyo requisito se evidenciará bajando verticales por cada uno de sus puntos, habiendo de coincidir los extremos de estas últimas rectas en puntos correspondientes de sus proyecciones horizontales trazadas ya de antemano en el tablero antes citado, hecha así la colocación, quedan reducidas á la mayor simplicidad las operaciones del retoque toda vez que sabiendo la dirección que llevan las generatrices del cilindro de intrados, no hay más que hacer resbalar una regla por una serie de puntos pareados que se habrá tenido buen cuidado de señalar sobre la línea de cabeza y en su movimiento de generación nos demostrará los defectos de la superficie labrada, en las protuberancias ó huecos en que se haya incurrido, retocando las creces en el primer sentido ó supliendo las partes negativas en el segundo hasta llegar á obtener una superficie bien lisa y continua en la cual se ajuste perfectamente en sus posiciones antedichas la regla generadora.

Si las trompas son cónicas puede procederse con ellas conforme hemos visto en las bóvedas terminadas por superficies de esta denominación y si son esféricas ó anulares aparte de seguir el mismo sistema que hemos indicado en las trompas cilíndricas en su colocación puede seguirse para el retoque todo lo expresado cuando de las bóvedas de revolución se trataba.

FIN.

ÍNDICE

Páginas.

PREFACIO . . . . 7 á 11

CAPÍTULO PRIMERO

Ojeada histórica

Celtas.—Menhir. Dólmenes. Galerías cubiertas. Roca de las Hadas . . . . 15 á 18

India.—Trabajos de desvaste y perforación. Pagodas. . . 18 á 19

Egipto.—Consideraciones generales. Spheos. Templo de Gartrusse. Muros y puertas egipcias. Pirámides. Entradas á las pirámides de Cheops. Cámara del Rey. Corredor en bajada en la gran pirámide. Cámara subterránea en la gran pirámide de Cheops Techo abovedado en un hipogeo de Beni-Hassan. Bóveda próxima á las tumbas Tebanas. Arco de un recinto tebano. . . 19 á 30

Grecia.—Pelasgos. Muros de Tirinto Murallas de Tarragona. Muros de Mantinea. Muros de Circeja, de Phigalia, de Likayón y de Misenas. Puerta de los Leones en Misenas: Tesoro de Atreo. Entrada al tesoro de Atreo. Muros de la Acrópolis del Sámico. Muros de Platea. Puerta y muros de Signia, de Alea y de Arpino. Aparejo del templo de Erecteo. Pedestal de la Acrópolis de Atenas. Puerta de Megalópolis. Monumento á Lisicrates. Frontón de un templo en Selinunta. Despiezo en un cornisamento. Corte en el frontón del templo de Diana. Disposición de las piedras formando casetones. Despiezo en los pavimentos. Disposición y despiezo en las gradas de un teatro. . . . . 30 á 49

Roma—Muros. Templo de Temide en Ramnunte. Opus reticulatum. Opus spicatum. Cloaca máxima. Acueductos. Acueducto de Segovia. Puente de Adriano. Arcos de triunfo. Arco de Septimio Severo. Arco de Bará. Anfiteatro Flavio. Bóvedas subterráneas del Coliseo. Sepulcro de Cecilia Mettela. Pretorio de Meusmich. 49 á 76

Bizancio.—Constantino I el Grande. Bóvedas de Santa Sofía en Constantinopla. Los arquitectos Anthemius de Tralles é Isidoro de Mileto. Baptisterio de San Jorge de Erza. Bóvedas y pechinas en la Iglesia de Jerusalén. Iglesia de San Vital. Anforas de San Vital. . . . 76 á 87

Páginas.

Románico.—Consideraciones generales. San Benito y su regla. Iglesia de Vignori. Cañones seguidos con refuerzos de arcos torales. Disposición de naves en las Iglesias. Claustro de San Pablo en St. Remy. Abadía de Montmajeur. Colocación de ménsulas y colunas. Claustro de San Pablo del Campo en Barcelona. Contrafuertes. Bóveda de San Gil. . . . . 87 á 106

Ojival.—Consideraciones generales. Bóveda ojival. Arco conopial. Claves colgantes. Arcos botareles. Rosetón de San Culgat del Vallés. Ventanal del Palacio del Rey D. Martín en el Monasterio de Poblet. Estructura de distintos arcos. Trompas. Escaleras. La institución masónica. El maestro Ervino de Steimbach. Filiberto Delorme.. 106 á 137

Renacimiento.—Consideraciones generales. El arquitecto Arnolfo de Lapo. Brunelleschi y su cúpula de Santa María de las flores, en Florencia. Bramante. Antonio de San Gallo. Miguel Angel. Jaime della Porta. Domingo Fontana. Cúpula de la Iglesia de San Pedro en Roma. Carlos Maderno. El Escorial. Los arquitectos Juan B. de Toledo y Juan de Herrera. Convento de Santo Domingo en Salamanua. Juan de Alava. Juan de Rivero Rada, Pedro Gutiérrez y Juan Salcedo. . . . 137 á 162

Barroco Churrigueresco.—Borromini y Bernini. La Iglesia de Belén de Barcelona. Churriguera. Sebastián Vaubán. Matourín-Jousse. El Padre Derand. Desarges. Dechalles. De La Rue. Curabelle. Frezier. Vicente Tosca. Simonin. . . . . 162 á 170

Segunda Restauración.—Causas que la motivaron. Felipe V. El arquitecto Sachetti. Palacio Real de Madrid. La casa Lonja de Barcelona y el arquitecto Soler. Gaspar Mouge. Hachette. Valleè. Douliot. Adhemar. Leroy.. . . . . 170 á 179

Epoca contemporánea. — Consideraciones generales. Fachada de la casa Güell. Universidad de Barcelona. Monasterio de las Salesas. Museo Martorell. Palacio de Justicia. Obras en la Catedral de Barcelona. . . . . 179 á 190

CAPÍTULO SEGUNDO

Definiciones é ideas generales. Piedra; su división. Cantera. Explotación de canteras. A cielo abierto. Barreno. Cuchara. Carga. Mechas. Sustancias explosivas. Aparato de Mahlen-Eschenbach. Pozos y galerías de mina. Explotación por desprendimiento; método especial seguido en Barcelona. Utiles y herramientas empleadas por el cantero. Distintos métodos de labrado. Clavijas. Principios fundamentales. . . . . 191 á 225

Páginas.

CAPÍTULO TERCERO

Muros.—Definiciones generales. Isodomon. Pseudoisodomon. Diatonus. Opus incertum. Reticulatum. Opus spicatum. Sistemas de enlace. Aparejo revinctum. Asiento sobre cuñas. Juntas falsas. Almohadillados; sus distintas clases.. . . . . 225 á 224

CAPÍTULO CUARTO

Muro en esbiage. En talud. En talud y esbiaje. En bajada.. 244 á 250

CAPÍTULO QUINTO

Esquinas.— Sistemas de enlace. Chaflán recto en una esquina recta. Chaflán oblicuo en el encuentro de dos muros en talud. Esquina oblicua en el encuentro de un muro en talud con otro recto. Chaflán oblicuo de paramento alabeado en el encuentro de dos muros en talud de inclinación distinta.. . . . . 250 á 266

CAPÍTULO SEXTO

Acuerdos.—Acuerdo cilíndrico recto. Acuerdo cónico recto. Acuerdo cilíndrico oblicuo. Acuerdo cónico oblicuo . . . . 267 á 287

CAPÍTULO SÉPTIMO

Colocación, retoque y rectificación en toda clase de muros. 288 á 296

CAPÍTULO OCTAVO

Arcos.—Clasificación de arcos con relación á su forma y á sus funciones. Adintelado. Rectilíneo apuntado. Medio punto. Rebajado. Arabe. Elíptico. Parabólico. Hiperbólico. Deprimido. Ojivales perfectos, quebrados. Túmido. Apainelado apuntado. Conopial. Tudor. Festoneados cóncavos. Idem convexos. Angrelados. Trebolado. Carpaneles. Condiciones impuestas á los carpaneles con el auxilio de la fórmula general. Arcos, por Tranquil. . . . . 297 á 328

CAPÍTULO NOVENO

Arcada ojival. Su trazado desde su embrión pasando por distintos períodos en su dibujo, hasta alcanzar su último y definitivo. Trebol. Trebol apuntado. Falso trebol. Rosetón.. . . . . 329 á 334

Páginas.

CAPÍTULO DÉCIMO

Dinteles.—Despiezos generales. Arco adintelado en un muro recto. Dintel en un muro cilíndrico recto. Dintel en un muro cilíndrico oblicuo. Colocación y retoque en los dinteles. . . . . 335 á 357

CAPÍTULO UNDÉCIMO

Bóvedas.—Clasificación. Cañón seguido recto. Cañón seguido establecido en un muro en esbiage y penetrando en otro cañón seguido construído de albañilería. Cañón seguido en el interior de un muro cónico recto y á la vez penetrando en una bóveda esférica construída de albañilería. Colocación, rectificación y retoque en los cañones seguidos. . . . . 358 á 391

CAPÍTULO DUODÉCIMO

Puentes oblicuos.— Preliminares. Empuje en falso. Paso en esbiage. Cuerno de vaca. División en zonas parciales é independientes. Sistema de arcos rectos. Aparejo ortogonal paralelo. Aparejo ortogonal convergente. Medios geométricos y analíticos para el trazado de las trayectorias en los dos sistemas. Sistema helizoidal. Solución teórica. Solución práctica. Distintos medios para el labrado de piedras. Teoremas de Mr. Lagournerie y Mr. Lúcas. El ingeniero inglés Buck y su especial medio de labra. Aparejo parabólico. Mr. Hachette y el aparejo cicloidal. Modificaciones de detalle en los arcos de paramento. . . . . 392 á 518

CAPÍTULO DÉCIMO TERCERO

Bajadas.—Bajada recta en un muro en talud. Bajada en esbiage en un muro recto. Bajada en esbiaje en un muro cónico recto. Medios especiales para contener el empuje en las bajadas. Retoque y rectificación en las bajadas. . . . . 519 á 550

CAPÍTULO DÉCIMO CUARTO

Bóvedas cónicas de eje horizontal.—Bóveda cónica en un muro recto. Bóveda cañonèra. Bóveda cónica oblicua en un muro en talud. Colocación y retoque en las bóvedas cónicas.. . . . . 552 á 565

CAPÍTULO DÉCIMO QUINTO

Capialzados.— Definiciones. Capialzado de Marsella. Dos soluciones. Curva límite del mismo. Capialzado

Páginas.

de Montpeller. Capialzado cónico. Capialzado de San Antonio. Colocación y retoque en los capialzados. . . 566 á 592

CAPÍTULO DÉCIMO SEXTO

Bóvedas de revolución.—Bóveda esférica. Distintos sistemas de labra. Bóveda en hemiciclo. Bŏvedas Vaidas. Bóveda parabólica. Bóveda cónica de eje vertical. Bóveda anular. . . . . 593 á 639

CAPÍTULO DÉCIMO SÉPTIMO

Bóvedas elípticas.—Elípticas de revolución. 1.ª solución, lechos planos inclinados al horizonte. 2.ª solución, lechos cónicos. 4.ª solución, lechos cónicos en resalto. 4.ª solución, juntas teóricas normales, lechos alabeados. 5.ª solución, lechos teóricos normales, juntas desarrollables. Elipsoide de tres ejes desiguales. Expresión analítica de las líneas de curvatura del mismo.. . 640 á 676

CAPÍTULO DÉCIMO OCTAVO

Trompas.—Preliminares y definiciones. Trompa plana. Trompa de Maubenga. Trompa de Montpeller. Trompa cónica recta. Ejemplo de esta trompa en las ex-murallas de Barcelona. Empleo de estas trompas en los cruceros de naves. Trompa cónica en muro en talud. Ejemplo de esta trompa en las murallas de la ex-ciudadela de Barcelona. Trompa cónica en una esquina. Sistema de trompas de Ormesson. Combinación de trompas en el hotel Lamoignon. Trompa cónica de base horizontal. Trompa cilíndrica sosteniendo un torreón cilíndrico. Ejemplo de esta trompa sacado de un grabado antiguo representando un baluarte atronerado en una fortificación alemana. Trompa cilíndrica en un chaflán. Ejemplo de esta clase inspirado en un motivo arquitectónico de la casa rectoral de la iglesia de Santa Ana de Barcelona. Trompa anular. Ejemplo de la misma situado en la esquina de un edificio de Amberes. Trompa apechinada, formando el intradoş una superficie envolvente. Trompa esférica en una esquina. Trompa esférica en el crucero de las naves de la Catedral de Worms. Trompas cojas. Trompa ondulada del castillo d' Anet. Colocación y retoque en las trompas. . . 677 á 722

ERRATAS

Pág.	Línea	Dice	Debe decir
23	25	Teogoma	Teogonia
47	F.ª 33	Corto en el frontón, etc.	Corte en el frontón, etc.
48	F.ª 36	Formes de los casetonas	Formas de los casetones
66	35	presición	precisión
110	42	podiendo	pudiendo
240	31	importante	imponente
242	36	frase	clase
244	2	En talud en esbiage y talud,	En talud, en esbiage y talud,
244	14	$A' A'' A C$	$A' A'', A C$
246	21	αC	$\alpha \beta$
246	30	Desprendiendo	Dependiendo
246	35	αC	$\alpha \beta$
247	11	$E'' \alpha C' C''$	$E'' \alpha' C' C''$
247	20	$h C''$	$h c''$
248	29	$i' p s i'' a'' A'' v'' y'$	$y p s i'' a'' A'' v'' y$
251	7	representen	se presenten
252	35	a	A
254	31	$m. 2. 1. m$	$M 2. 1. m$
266	29	$Z Y \beta b$	$Z X \beta b.$
276	19	el vértice H la $H O'$	el vértice E la $E O'$
314	20	al eje menor $E F$	al eje menor $C F$
316	19	$a r^2 - (a^2 + b^2) r - \frac{b(a^2+b^2)}{2} = o$	$a r^2 - (a^2 + b^2) r + \frac{b(a^2+b^2)}{2} = o$
323	5	$G D = D B$	$C D = D B$
333	21	nos cortará r y s	nos cortará en r y s
349	31	$c^{VIII} a''$	$c^{VII}\ x'', x'' a''$
370	4	$\frac{y}{x}$	$-\frac{y}{x}$
370	35	$E_1 e_1$	$E^{IV} e'$
378	36	$\omega y \omega y$	$\omega, y \omega \gamma$
382	26	$G_1 \varphi$	$G_1 \psi$
382	28	$m' \varphi$	$m' \psi$
387	32	$a'' d''$	$a'' b''$
398	26	De qui se infiere	De aquí se infiere
402	36	se encontró	se encontrará
419	23	$g g'' a'' b'' f''$	$g'' a'' b'' f''$
419	36	$a' \beta f' N B a'$	$a b' f' N B a'$

Pág.	Línea	Dice	Debe decir
429	8	coloración	colocación
440	11	rabatamiento	rebatimiento
441	20	$L' T'$	$L T$
444	33	tangente ó la	tangente a la
445	2	$P Q, M N, N Q, Q P$	$P Q, M N, N Q, M P$
446	7	$a b c d$	$a c d b$
448	13	$e_1 c^V$	$e_1 e^V$
451	31	$D v q$	$z v q$
472	12	natural rectificada	rectificada
475	8	canteriza	cantería
476	26	punto	junto
477	11	$x y$, *tang*. m	$x y$. *tang*. m.
477	17	$y o x = \theta$ por tener	$y o x$, por tener
489	24	en donde está, esta recta corta á la recta que	en donde esta recta corta á la que
489	26	x_1	y
491	29	como en el párrafo	como anteriormente
504	13	proposicion	proporción
504	16	$d = Q'' q + Q' q'$	$s = Q'' q + Q' q'$
525	3	$O O^{IV} = O O'$	$Q O^{IV} = O O'$
533	14	$C_1 D_1 E_1 F_1 G_1$	$C_1 B_1 E_1 F_1 G_1$
534	7	(F.ª 200''')	(F.ª 209''')
539	23	parte apuesta	parte opuesta
560	33	$V D V B$	$V D, V B$
561	32	$n \omega$	$n' \omega$
565	2	á un	á su
573	22	$R' H' J' K, f Y' R'$	$R' H' J' K f Y R'$
574	33	defender	depender
582	31	á de pasar	ha de pasar
586	26	la horizontal $O,' O'' O$	la horizontal $O,' O n'$
601	27	F.ª 225^V	F.ª 225^{VI}
604	25	esferida	esférica
611	23	acuendo	acuerdo
620	18	el grues en	el grueso con
624	37	interior	exterior
625	26	situada el	situada en él
647	33	distancia al O	distancia al C'
648	23	la sección vertical $P O$	la sección vertical $P C'$
648	28	la sección $O P$	la sección $C' P$
656	29	así tendremos la curva $h e'$	así tendremos la curva $h e$
658	21	corto	corte
663	4	$O F = \sqrt{a^2 - b^2} O' F'' = \sqrt{b^2 - c^2}$	$O F = \sqrt{a^2 - b^2}, O' F'' = \sqrt{b^2 - c^2}$
663	4	$O'' F'' \sqrt{a^2 - c^2}$	$O'' F'' = \sqrt{a^2 - c^2}$
660	27 (nota)	$\frac{d_2 z}{d x^2} = r . \frac{d^2 z}{d x d y} = s$	$\frac{d^2 z}{d x^2} = r , \frac{d^2 z}{d x d y} = s$
662	23 (nota)	$3 d y$	$s d y$
662	23 (nota)	$5 d x$	$s d x$

Pág.	Línea	Dice	Debe decir
663	1 (nota)	corta	cierta
663	2 (nota)	higronométrica	trigonométrica
663	4 (nota)	llegue	lleguen
664	6 (nota)	$\frac{(b^2 c^2) x y}{b^2 (a^2 - b^2)}$	$\frac{(b^2 - c^2) x y}{b^2 (a^2 - b^2)}$
665	9 (nota)	dengna	designa
667	35 (nota)	ordena	ordenada
668	12 (nota)	costara	cortará
678	21	voate	voute
679	25	revistas	revista
682	1	escuadro	escuadra
683	23	$O_3 H_1$	$O^3 H_1$
687	3	resalta	resalto
691	23	$K d'$	$H d'$
694	19	hora	ahora
694	32	$e d C$	$e' d' C$
699	18	y	y

OBRAS DEL MISMO AUTOR

Tratado de **Gnomónica**, considerada bajo el punto de vista de aplicación directa de la Geometría Descriptiva. . 18 ptas.

Secretos que llevan consigo los cinco cuerpos regulares (agotada).

OBRAS DE D. ANTONIO ROVIRA Y TRIAS

Tratado de la extinción de incendios . . 10 ptas.

Paralelo razonado de los *Macelos* de Italia (Agotada.

